

MITSUBISHI

三菱電機技報

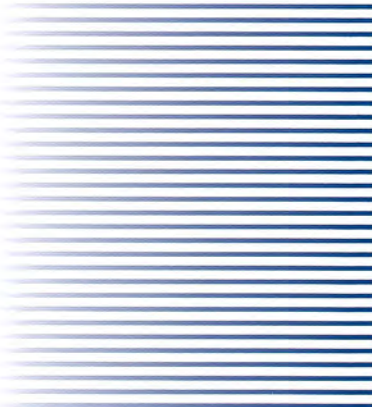
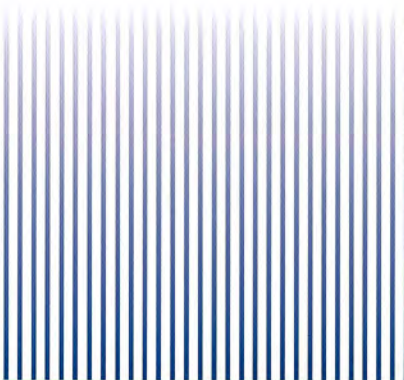
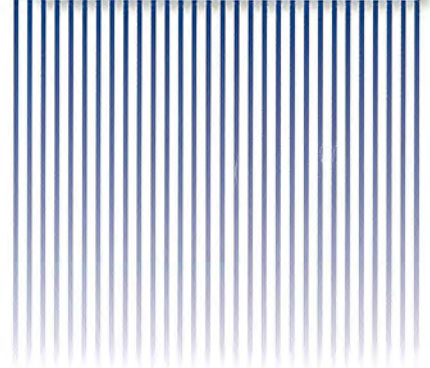
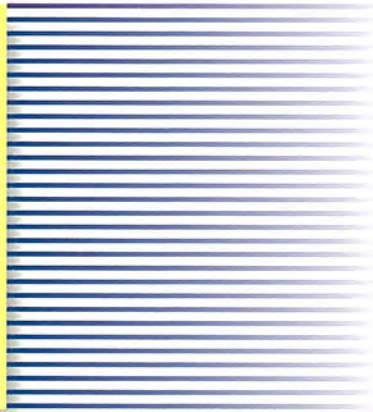
Vol.78 No.12

2004

12

特集Ⅰ「最新の受配電システム」

特集Ⅱ「車両(電気鉄道)システム技術」



目次

特集 I「最新の受配電システム」

技術開発と個性	1
大久保 仁	
受配電システムの技術展望	2
藤本隆一・酒井道雄・沼田伸一	
24kV 低ガス圧ドライエアー絶縁スイッチギヤ“HS-X”	7
有岡正博・佐藤伸治・竹内敏恵・矢野知孝・吉田忠広	
7.2kV複合絶縁開閉装置“MS-S”	11
山地祐一・安東敏治・釣本崇夫・中川隆文	
海外規格(IEC規格)適合F形モータコントロールセンタ	15
林 和史・岩澤頼晃	
3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D固定形)	19
菅 則雄・原田貴和・十鳥 洋	
MT法による絶縁物の余寿命診断と受配電設備の予防保全	23
岡澤 周・三木伸介・長谷川武敏・橋爪愛一郎・池守 正	

特集 II「車両(電気鉄道)システム技術」

“車両(電気鉄道)システム技術”特集に寄せて	27
宗行満男	
鉄道車両用電機品での安全・安定輸送への取り組み	28
小尾秀夫	
EF510形式交直流電気機関車の主回路システム	31
萱野博之・根来秀人・伊藤大介・小林伸匡・菅野 崇	
小田急電鉄3000形向けVVVFインバータ装置	35
加藤 肇・小笠原 誠・竹岡俊明・田中 毅・高橋哲也	
車両情報システムの海外展開	39
増渕洋一・竹山雅之	
HVIPMの高耐圧化と 電鉄用パワーエレクトロニクス機器への応用	43
田中 毅・北中英俊・有塚智彦	
速度センサレスベクトル制御の実機適用	47
根来秀人・北中英俊・河野雅樹	
全閉主電動機の製品化適用技術	51
兼井延浩・堀内清史・羽下誠司	
集約形の列車保安車上装置	55
飛岡正己・田原一浩・猪又憲治	
最近の車両用空気調和装置 - 2階建て車両用AU729形空気調和装置の紹介 -	59
小柳良文	

Technological Aspects of The Power Distribution Systems

Technology Development and Identity

Hirosi Okubo

Technological Aspects of The Power Distribution Systems

Ryuichi Fujimoto, Michio Sakai, Shinichi Numata

24kV Dry Air Insulated Switchgear “HS-X”

Masahiro Arioka, Shinji Sato, Toshie Takeuchi, Tomotaka Yano, Tadahiro Yoshida

7.2kV Composite Insulated Switchgear “MS-S”

Yuichi Yamaji, Toshiharu Ando, Takao Tsurimoto, Takafumi Nakagawa

The F-type Motor Control Center applied IEC Standard

Kazufumi Hayashi, Yoriaki Iwazawa

3.6/7.2kV Vacuum Circuit Breaker(VF-8/13D Fixed Type)

Norio Kan, Takakazu Harada, Hiroshi Tottori

Deterioration Diagnosis of Insulating Material of Power Distribution Systems Using MT Method

Hiroshi Okazawa, Shinsuke Miki, Taketoshi Hasegawa, Aiichiro Hasegawa, Tadashi Ikenori

Technology for Rolling Stock Systems

Technology for Rolling Stock Systems

Mitsuo Muneyuki

Electric Equipment of Rolling Stock for Safety and Stability Transportation

Hideo Ohi

Power Circuit System of EF510 AC/DC Electric Locomotive

Hiroyuki Kayano, Hideto Negoro, Daisuke Ito, Nobumasa Kobayashi, Takashi Kanno

VVVF Inverter System of Odakyu Electric Railway 3000 Series

Hajime Kato, Makoto Ogasawara, Toshiaki Takeoka, Takeshi Tanaka, Tetsuya Takahashi

Train Information System in Overseas Market

Yoichi Masubuchi, Masayuki Takeyama

High Voltage IPM and Application to Equipment of Railway Vehicles

Takeshi Tanaka, Hidetoshi Kitanaka, Tomohiko Aritsuka

Sensorless Vector Control for Propulsion System of Rolling Stock

Hideto Negoro, Hidetoshi Kitanaka, Masaki Kohno

Technologies Applied to the Productization of Totally-Enclosed Type Traction Motor

Nobuhiro Kanei, Kiyoshi Horiuchi, Seiji Haga

Integrated on-board Automatic Train Protection

Masami Tobioka, Kazuhiro Tahara, Kenji Inomata

The Latest Rail Car Air Conditioner—Introduction of AU729 Air Conditioner for Double-decker Rail Car—

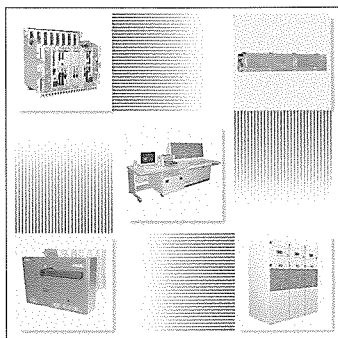
Yoshifumi Koyanagi

特許と新案

「真空スイッチ管」 「電力変換装置」	63
「高周波変圧器の偏磁防止回路」	64
三菱電機技報78巻総目次	65

スポットライト

保護継電器自動点検システム



表紙

受配電システムの進歩

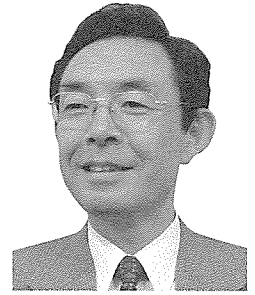
受配電システムは社会インフラにおける大変重要な基幹システムであり、社会ニーズの変化に対応し、絶縁技術・遮断技術・監視制御技術の進展により、安全性・信頼性の追求、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。今後更に、環境負荷低減、一層の安全性・信頼性向上、ライフサイクルコスト低減等のニーズに基礎技術から体系的に取り組み、これを応用し製品化していく。

安全・安定輸送を支える鉄道車両用電機品

三菱電機は、より快適で信頼度の高い安全・安定輸送を実現するために、推進制御装置や空調制御装置を始めとする様々な車両搭載用各種電機品と、これらを統合管理する情報制御装置を最適なシステムとして提供している。

I 技術開発と個性

Technology Development and Identity

大久保 仁
Hitoshi Okubo

世界記録に挑戦し記録更新するようなスポーツ選手は、鍛え上げられた体と研ぎ澄まされた美しいフォームを持ち合わせている。これは、単独競技の陸上や水泳だけではなく、相手のある柔道やテニス、そしてチームプレーの野球やバレーボールなどの選手でも同じである。究極にまで鍛え上げられたものは、物理的にも生理学的にも無駄が省けて美しくなっていく。しかし、それはただ美しいだけではないことに気付く。水泳でも陸上でも野球でもサッカーでも、超一流選手のそれは、無駄のない美しさに加えて“個性”が光っている。そこに多くの観衆は大きな魅力を感じるのである。

一方、技術開発の究極の姿はどうであろうか。厳しい経済状況の中で産業界のあくなき努力・競争が続き、製品の信頼性向上、コストダウン、簡素化、縮小化などが、休むことなく進められている。それは無駄を省き生産能力を向上させ、エネルギー利用率を上昇させる。また、機器や装置自身の縮小化や効率向上、使用材料の軽減化、省エネルギー化により、環境負荷を低減をすることは言うまでもない。簡素化や耐熱新材料の適用などで信頼性や寿命効率も上がり、これは非常に重要なことである。技術開発の目指す本来の姿であることは間違いない。

しかし、極限まで簡素化、縮小化を進めていくと、つまり、物理的限界、材料的限界などの科学的限界に近付くと、どの製品も同じような形、同じような作りになり、使い勝手も似てくる。いずれもよく似た類似なものになり、無味乾燥なそして無機質に見えてくるのは私だけであろうか。

家庭電化製品でも電力機器でも、一昔前のものを見ると、何ともいえない温かみを感じる。これは単なるノスタルジアだけではなく、各企業の開発の考え方(コンセプト)のようなものが伝わってくるためである。もちろん、現在の開発品に比べて効率は良くないであろうし、トータル環境適合性は必ずしも良好ではないかもしれない。技術とは、そして技術開発とは何であろうか。それは、“社会に受け入れられて使われるのが技術”の条件であり、そういう装置・機器を開発するのが技術開発である。そうであるなら、家庭電化製品であれ電力機器であれ、技術開発のコンセプトには広い意味での社会的受容性を引き出す“個性”があってほしい。換言すると、社会が求めるもの、社会のニーズを先取りした機器・装置であってほしい。これからの時代は、機器や装置の開発において、社会的受容性、すなわち環境調和、安全・安心社会への適合、不燃化、省エネルギー、経済性などのキーワードに代表される“社会的受け入れ満足度”が重視され、その限度に挑戦していくことになる。その結果、各企業の製品開発コンセプトが滲(し)み出て、技術開発の“個性=Identity”が光るのである。

物理的にそして材料的に究極まで技術開発を行った中に、社会に受け入れられる個性が光った、つまりIdentityのある機器・装置の開発を望みたい。今後の受配電システムを始めとする機器技術においても、究極の姿を目指し物理的限界を見据えつつ、豊かな個性により多様な社会的受容性を得て、更なる発展を期待したい。

受配電システムの技術展望



藤本隆一*



酒井道雄**



沼田伸一***

Technological Aspects of The Power Distribution Systems

Ryuichi Fujimoto, Michio Sakai, Shinichi Numata

要旨

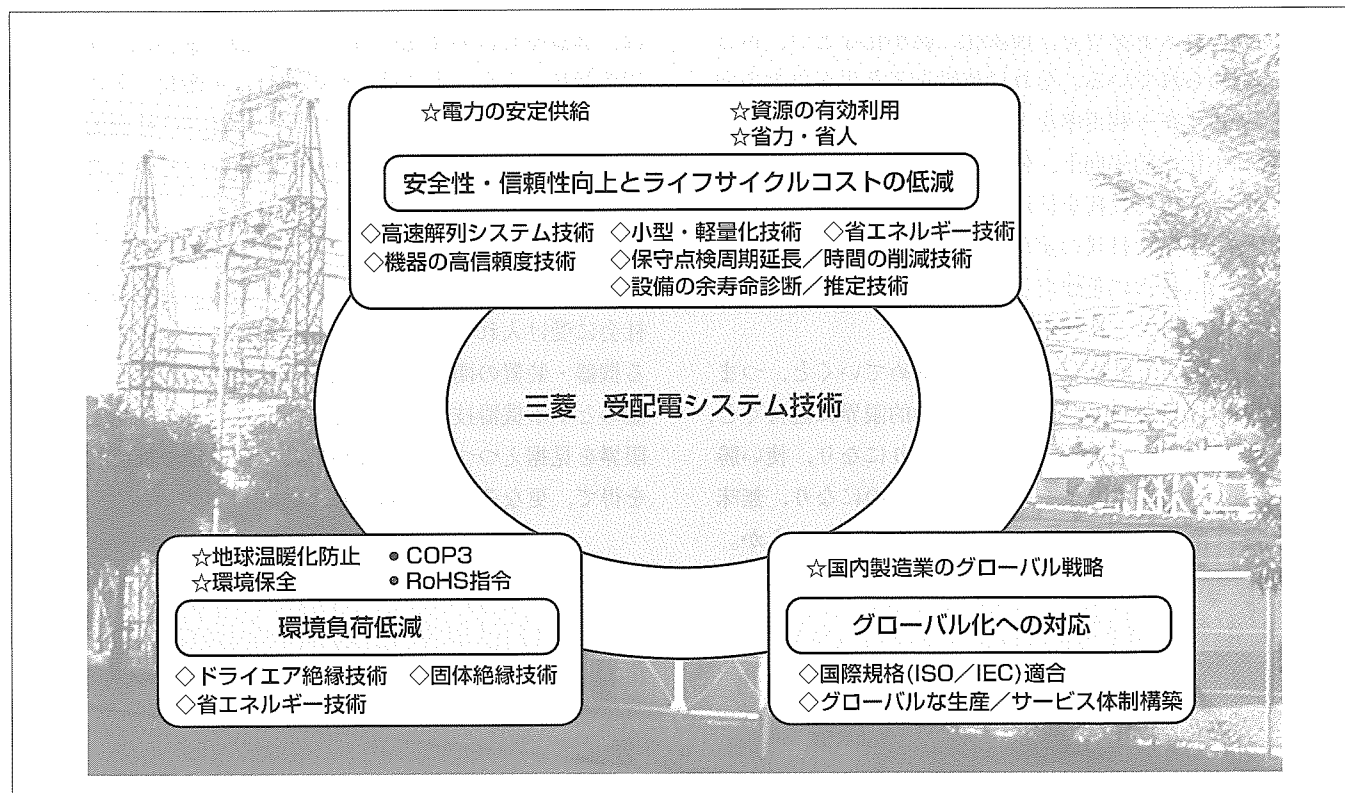
受配電システムでは、社会ニーズの変化に対応した絶縁技術・遮断技術・監視制御技術の進展により、安全性・信頼性の追求、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。さらに、今日では、地球環境問題の深刻化、国内新規設備投資減少、設備運用の一層の経済性・効率化の追求、グローバル化の加速という社会環境変化の下で以下に示す技術開発がなされ新製品が投入されつつある。

- (1) 地球に与える悪影響を極小化する環境負荷低減に寄与する技術
 - 脱SF₆ガスを実現する絶縁技術
ドライエア絶縁技術と固体絶縁技術
 - 省エネルギーを実現する技術
 - 欧州 RoHS指令禁止 6 物質全廃を実現する技術
- (2) 安全性・信頼性を一層向上させつつ経済性と効率化を

追求する製品ライフサイクルコスト低減技術

- 設置コストを極小化できる小型／軽量化技術
 - 省エネルギーと運用監視を一層高度化する遠隔監視技術
 - 点検周期延長と点検時間削減を可能にする技術
機構部や絶縁部の信頼性を一層向上させる技術
保護リレーや制御回路の自動点検技術
 - 既設設備の延命／更新時期を見極める技術
 - 電力供給の安全性／信頼性を一層向上させる技術
- (3) ユーザーのグローバル事業拡大に伴う国際標準製品群と海外生産

三菱電機は、これら各課題に対し、研究段階での基礎技術開発から応用・製品化・運用までの一貫した取り組みにより、社会に貢献しようとしている。



受配電システムの技術展望

当社は、環境負荷低減、更なる安全性・信頼性の向上、設備のライフサイクルコスト低減及び国際標準適合などの社会的ニーズに対し、基礎技術開発から体系的に取り組み、受配電システム・機器の製品化を行っている。

1. ま え が き

受配電システムは、配電線より電力を受ける受電点から動力・照明など配電端負荷に至るまでの電力供給用設備、保護・監視・制御装置を構成要素としている。また、これらは、公共・民間を問わず、社会インフラにおける大変重要な基幹システムに位置付けられる。

受配電システムは、1950年以降、社会ニーズの変化に対応し、絶縁技術・遮断技術・監視制御技術の進展により、安全性・信頼性の追求、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。さらに今日では、地球環境問題の深刻化、国内設備投資の減少、グローバル化の加速などの社会環境の下で、①人間活動が地球に与える悪影響を極小化するための環境負荷の低減、②安全性・信頼性を一層向上させつつ経済性と効率を追求する製品ライフサイクルコストの低減、③グローバル事業拡大に伴う国際標準準拠という課題が受配電システムに課せられている。

本稿では、受配電システムを支える技術の歩みと、最近の社会ニーズに対する当社の技術開発と成果について述べる。

2. 受配電システムの歩みと最近の技術動向

需要家の受配電システムの発展は、電気工作物規定等が整備された1950年代から始まる。戦後復興、高度経済成長へと向かう中での社会的ニーズと環境の急激な変化に対し、技術開発と新製品の普及、規定・法令の施行が進み、現在の受配電システムへと発展してきた(図1)。

(1) 1960年代～1970年代

高度経済成長により大規模プラントの新設が進み、受配電システムも大容量化と新設が急増した。この間、絶縁・遮断技術の革新により、従来の油・空気・磁気等の遮断器はガス遮断器(GCB)、真空遮断器(VCB)へと置き換わり、ガス絶縁変圧器や多段積閉鎖型配電盤の普及で変電所の大幅な縮小化と不燃化が進んだ。また、低圧の分野では、配

線用遮断器と限流装置を組み合わせた遮断方式により、安全性・信頼性の高い大容量配電システムが数多く設置された。

後半は公害が社会問題化し、フロンでのオゾン層破壊などの環境問題も指摘された。2度の石油ショックで電力消費見直しが求められ、産業分野でコジェネレーションシステムの導入が始まり、新エネルギー開発が検討された。これらは、その後、“系統連係技術要件ガイドライン”“分散型電源系統連係技術指針”の整備を通して現在に至る。

(2) 1980年代～1990年代

土地高騰により省スペース化のニーズが一層高まった結果、ガス絶縁機器が普及しキュービクル形ガス絶縁開閉装置(C-GIS)の開発により変電所は一層縮小化された。さらに、配電盤も小型化・高密度化が進んだ。

この時期にはLSIの急速な進化により装置のインテリジェント化が進み、低損失光ファイバが普及し、情報通信分野が革新的に進歩した。受配電システムにおいても、運用・保全の高度化・省力化のニーズから設備のインテリジェント化と監視制御の高度化が提案された。この結果、受配電盤にはデジタルリレーが搭載され、制御装置とのインタフェースに信号伝送が採用されるようになった。また、定期保全に対しセンシングやデータ解析による状態監視保全が提案された。

(3) 最近のニーズと技術動向

地球温暖化、資源の枯渇、オゾン層破壊などの環境問題への取り組みが地球規模で最重要テーマとなっている。地球環境への悪影響を最小限にとどめつつ人間社会の発展を図るための技術開発が急務であり、受配電システムに関しても、省エネルギーや製品・材料の環境負荷低減に対応した技術開発がなされ、新製品が投入されている。

国内においては、プラント運転効率の向上と運用・保全コスト削減のニーズが一層高まり、さらに、将来の廃棄・更新も考えたライフサイクルコスト低減のニーズへと拡大してきている。また、1970～1980年代に導入された設備の老朽化が進み、延命化の技術や耐用限度を見極める技術が重要視されている。一方、新製品には旧機種との互換性や更新の容易性を満足させつつ安全性・信頼性の更なる向上を図った新技術を取り込むことが重要課題となった。

さらに、グローバル市場での事業展開が一層加速される中、受配電システムのユーザー、設計・施工会社、メーカーでの共通課題として国際標準への対応も急務となった。

3. 環境負荷低減(環境調和性)を実現する技術

3.1 脱SF₆ガスを実現する絶縁技術

従来、中電圧クラス(24～84kV)のスイッチギヤは、絶縁媒体としてSF₆ガスを使用したC-GISが主流であった。SF₆ガスは優れた絶縁・遮断性能を持っているが、その化

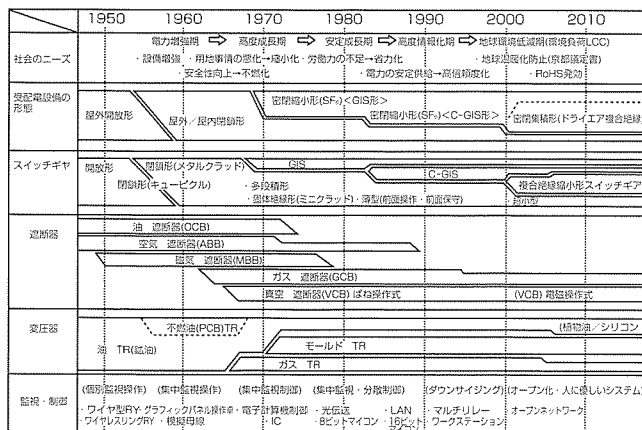


図1. 受配電設備における技術の変遷

学的安定性から高い地球温暖化係数(GWP)を持ち、地球温暖化防止京都議定書(COP3/1997)で、温室効果ガスとして排出規制対象ガスの一つに指定された。

このような背景から、当社では、業界に先駆けてSF₆ガスを不要とする絶縁技術の確立に取り組んできた(表1)。

3.1.1 ドライエア絶縁技術

ドライエア(乾燥空気: O₂+N₂混合ガス)が大気中に存在する地球温暖化係数がゼロのガスであることに着目し、この絶縁特性を当社の特長である低ガス圧(労働安全衛生法における第二種圧力容器の検定が不要な0.2MPa.G以下)領域において重点的に研究した。結果として、各種不平等電界ギャップの圧力-破壊電圧特性、低ガス圧ドライエアと絶縁バリアの複合絶縁特性などの絶縁技術を業界で初めて確立した。この成果を適用することで、2000年4月に、世界で初めて完全脱SF₆ガスを実現しつつ業界トップレベルの小型・軽量化を達成した24/36kV低ガス圧ドライエア絶縁開閉装置“HS-X形”を開発し製品化した。

3.1.2 固体絶縁技術

脱SF₆ガスを実現するものとしてさらにエポキシ固体絶縁技術があり、装置の小型化にも寄与する。エポキシ樹脂で導電部その他を一体成型するが、これら内部材料は銅、ステンレス、黄銅、セラミックスなどがあり、それぞれ熱膨張率がエポキシ樹脂と大きく異なる。この課題を、熱応力解析で最適応力緩和形状を決定するとともに、エポキシと内部材料の双方への密着力を確保しつつ膨張率の差を吸収し得る弾性を持つ応力緩和層を設けることで解決した。

3.2 省エネルギーを実現する技術

3.2.1 配電昇圧化を支える技術

配電時の電力損失は電流の二乗に比例する。6.6kV配電電圧を22kVに昇圧して需要家の近くまで配電することで、電力損失を低減しCO₂の排出量削減を図ることができる。このためには、経済的かつコンパクトな、環境に調和した22kV配電設備が求められている。これを実現する要素

表1. 各種SF₆代替ガス絶縁方式の比較

代替ガス	地球温暖化係数(GWP)	長所	使用上の課題
ドライエア	0	・大気と同じ成分のため取扱い容易 ・大気放出可能	・破壊電圧がSF ₆ の約1/3 ・加圧+バリア/被膜の複合絶縁技術
N ₂ ガス	0	・大気中成分のため取扱い容易 ・大気放出可能	・破壊電圧がSF ₆ の約1/3で、ドライエアより小さい ・窒息性 ・加圧+バリア/被膜の複合絶縁技術
CO ₂ ガス	1	・大気中成分のため取扱い容易 ・大気放出可能	・破壊電圧がSF ₆ の約1/3 ・窒息性 ・加圧+バリア/被膜の複合絶縁技術
SF ₆ /N ₂ 混合	23,900	・混合比と圧力の選定でSF ₆ と同等の破壊電圧値確保が可能	・ガス分離回収技術が不可欠
C ₃ F ₈	500	・絶縁耐力がSF ₆ の0.94倍でほぼ同等である	・ガス回収が必要 ・高価

の一つとして、上述の固体絶縁技術と真空遮断技術をフルに活用した超小型24kV複合絶縁真空開閉装置(VIS)を開発した。図2に示すように、新規開発した多機能真空バルブ(電極、絶縁ロッド、可とう導体を一つの真空容器内に配置し、“入、切、断、接地”の機能を持たせたもの)とセラミックスや銅などを三相一括でエポキシ固体絶縁した画期的な装置である。

3.2.2 改正省エネルギー法基準を満足する高効率変圧器

従来、各種電力用機器の低損失化・高効率化を推進してきたが、省エネルギー法が改正され、産業用機器として初めて変圧器が特定機器に指定された。これにより、変圧器は法律の規制を受けながら、更なる省エネルギーを推進することとなった。変圧器の損失は無負荷損と負荷損からなる。無負荷損のほとんどは鉄心で発生する損失であるため、その低減は鉄心材料に負うところが大きい。結晶単体で最も磁化されやすい方向をそろえた高配向性電磁鋼帯の表面に溝加工を施し、磁区を細分化して低損失化を図った磁区制御電磁鋼帯が実用化され、従来の標準的な方向性電磁鋼帯に対し大幅な無負荷損低減が可能になった。さらに、当社独自の巻鉄心保持構造により無負荷損を一層低減している。また、負荷損は巻線の電流により発生する損失であり、巻線導体断面積を大きくすることで損失を低減できるが、この場合、漂遊負荷損が大きくなるため導体細分化や転位を行う。

これら技術を採用したスーパー高効率変圧器シリーズは、大きな省エネルギー効果を実現している(図3)。

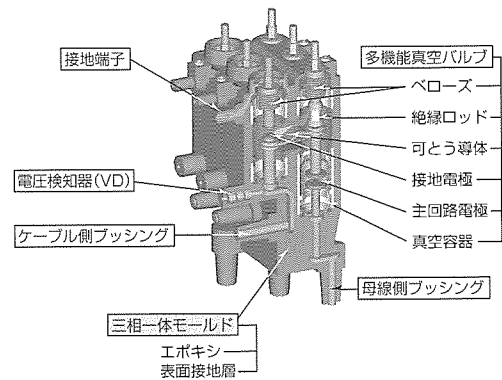


図2. 24kV複合絶縁真空開閉装置の構造

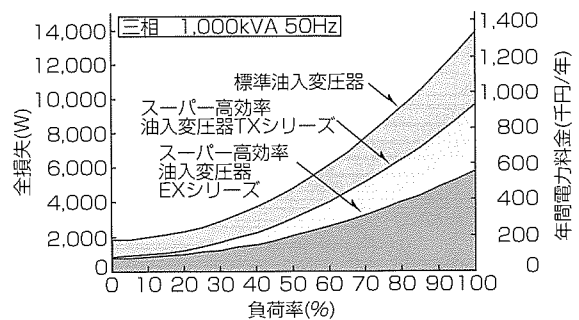


図3. スーパー高効率変圧器と省エネルギー効果

3.3 欧州RoHS指令禁止6物質全廃を実現する技術

欧州RoHS指令禁止6物質のうち受配電システム構成機器で問題となるのは主に六価クロムと鉛である。六価クロムは、亜鉛めっきの防錆(ほうせい)処理剤として鋼板やボルトのクロメート処理に使用されてきた。これに対し、耐食性、摩擦係数など長期安定性を確認して代替処理を採用することが必要である。また、鉛はプリント基板への部品実装に鉛はんだとして使用されてきたが、同等の優れた機械的性質を持つ鉛フリーはんだの作業性や長期信頼性を確認しこれに変更しつつある。当社受配電システム構成機器では、2005年末までに6物質を全廃する計画である。既に2004年11月には6物質を全廃し、かつ、エコ電線を使用したRoHS指令適合3.6/7.2kV真空遮断器“VF8/13D”を発売開始した。

4. 製品ライフサイクルコストを低減する技術

受配電設備のライフサイクルコストの低減は図4に示す材料選択から廃棄までの全ステージを考慮して実施する必要がある。

4.1 設置コストを極小化できる小型・軽量化

受配電設備の小型・軽量化は、電気室の縮小化、設備搬入・据付工事の簡素化、リプレースや解体廃棄の容易化などライフサイクルコストの低減に大きく寄与する。このため、受配電設備用製品のすべてに対し、小型・軽量化の努力がなされている。2002年12月に業界一の小型・軽量品として開発し製品化した7.2kV複合絶縁開閉装置“MS-S”は、固体絶縁技術を真空遮断器及び主回路導体部に適用することで、従来の7.2kV気中絶縁スイッチギヤを大幅に縮小した。この装置は、当社従来品に比べて、容積で30%、質量で60%(1面約250kg)を実現した。通常のエレベーターでハンドプラッタにより搬入できるスイッチギヤとして新設設備のほかリプレース用として使用されている(図5)。

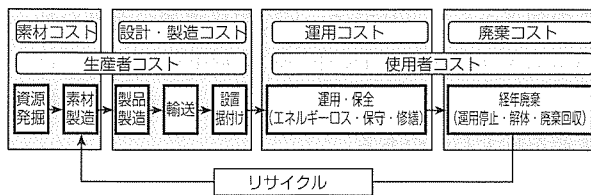


図4. 受配電設備のライフサイクルコスト

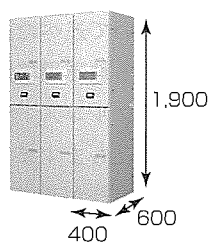


図5. 7.2kV複合絶縁開閉装置MS-S

4.2 省エネルギーを支援する情報技術

各種計測端末で収集したエネルギーデータをインターネット、イントラネット上で閲覧し活用することで、全員参加の省エネルギー活動を展開できる。また、各種アプリケーションと組み合わせることで、複雑なプログラミングや設定なしに目標値管理・原単位管理による省エネルギー管理システムを構成できる。当社“EcoServer II”は、RISCチップ内蔵の高速処理可能なハードウェア上に、省エネルギー活動を支援するアプリケーションソフトウェアをワンパッケージ化している(図6)。

4.3 点検周期延長と点検時間削減を可能にする技術

受配電設備の保守点検はプラントやビルの運用上不可欠であるが、一方で、省人化・省力化はライフサイクルコスト低減を考える上で重要である。このため、機器の安全性と信頼性を高めることで点検周期の延長化を図り、また、点検個所の極少化や自動点検化を行うことで点検時間を削減することに取り組んでいる。以下に、受配電設備を構成する機構部、主回路部、制御回路部の各々での点検合理化のための技術について述べる。

(1) 新開発電磁操作機構の採用

遮断器操作機構のメンテナンスフリー実現を指向して、国内外各社がばね操作機構に代わる電磁操作機構を開発している。当社は、電磁界と運動の双方の過渡現象を同時に解析できる新しい動的連成解析技術を確立して適用し、世界最高効率(駆動エネルギーで当社従来のばね操作機構比20%)の電磁操作機構を開発した。この装置で、真空スイッチ管を各相個別に直動する構成とし、損耗部品をなくし、部品点数を半減させた。この電磁操作機構は、24kV低ガス圧ドライエア絶縁開閉装置のVCBに搭載している(図7)。

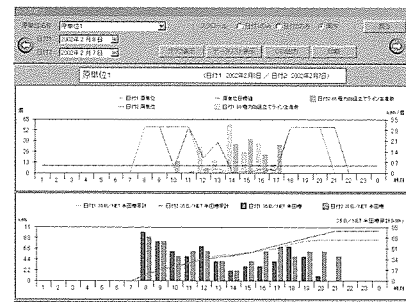


図6. 生産ラインの省エネルギー(エネルギー原単位管理)

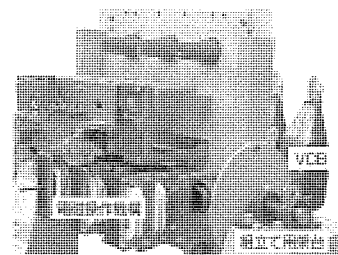


図7. 電磁操作機構搭載VCB

(2) 主回路絶縁部の信頼性を一層向上させる技術

主回路の密閉化や固体絶縁化又は複数の絶縁媒体を組み合わせた複合絶縁化は、脱SF₆化や装置小型化を実現する一方で、信頼性を一層向上させることでメンテナンスフリー化や大幅な点検部位の削減を可能としている。

これらの実現には、SF₆代替ガス絶縁技術、固体絶縁材料技術、各種解析技術(電界解析, 熱応力解析, 樹脂流動解析)のほか、表面汚損や結露に対する耐環境試験、ヒートサイクルやヒートショックを含む長期信頼性確認試験などの新技術・手法の寄与が大きい。

(3) 保護リレー・制御回路の自動点検技術

保護リレーがデジタル化され計測・表示・操作・通信端末の機能を複合化するようになった結果、遠隔常時監視が容易になり、定型的保守業務が機械化されてきた。さらに、点検時間の削減と省力化を目的に受配電盤の保護リレーや制御回路を自動点検するシステムを提案し、採用されている。これは、配電盤のデジタル化された保護制御装置に時間計測機能と各制御リレーの動作信号入力機能を持たせ、専用コントローラからの通信指令により保護リレー動作や停復電シーケンス動作が所定の時間・手順で行えることを自動点検するシステムである。これにより、点検時間、人員を大幅に削減することができる。

4.4 設備の延命・更新時期を見極める技術

設備の延命・更新時期を見誤ることは、重大な事故を引き起こし多大の損失をもたらしかねない。このため、各設備ごとに延命・更新の手法が検討されている。

当社では、受配電設備の絶縁物余寿命を化学的測定とMTシステム(マハラノビスタグチ・システム)、統計学的推定法により定量的かつ非破壊的に推定する方法を提案し設備更新を進めている。数多くの経年設備を分析した結果、15項目の劣化要因を抽出し、各種絶縁物の劣化を支配する要因(各種イオンなど)の量や色調の変化と絶縁抵抗値低下の相関関係を精度良く求めた。このデータにより、個々の使用環境下での当該設備余寿命(絶縁物が放電を開始する時間)を定量的に推定する。実際の診断に当たっては、イオン量や色彩の測定器をキット化し、余寿命推定アルゴリズムをプログラム化していることから、現地で簡単に診断することができる(図8)。

4.5 電力供給の安全性・信頼性を向上させる技術

落雷などによる瞬時電圧低下は、重要な負荷設備の損傷や停止を招くため、ライフサイクルコストに大きな影響を与える。高速真空遮断器と高速保護リレーとからなる高速解列システムは、瞬時電圧低下による重要負荷停止の未然防止やコジェネレーション用発電機の保護に大変有効である。図9に解列のタイムチャート(例)を示す。

このシステムに使用する3.6/7.2kV 20kA高速真空遮断器“HSS形”は開閉極用反発コイルによって発生する高周波

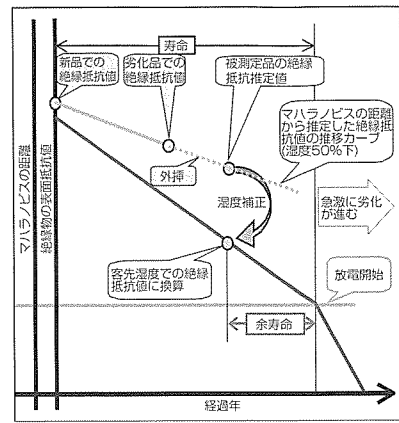


図8. MTシステムを適用した絶縁物余寿命推定

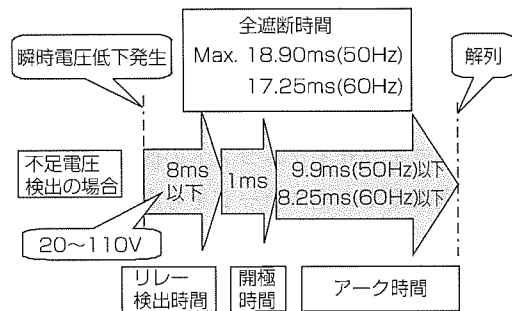


図9. 高速解列システム(タイムチャート<不足電圧検出>の例)

磁界と、反発板に誘起される渦電流との相互作用で発生する力で皿ばねを動作させる独自の方式で遮断器の開閉極時間1ms以下を実現している。

5. グローバル化への対応を可能とする技術

国際規格対応は、受配電システムのユーザー、設計・施工会社、メーカーのそれぞれの立場で海外展開を戦略的に進めるために不可欠である。さらに、規格の要求条件を満足した上で、各地域での設備運用、保全、安全、気候の実態を理解し対応することが、その地域での設備計画上重要となる。

この観点から、当社では、IEC規格準拠の海外シリーズであるスイッチギヤ“MS-E”や“F形モータコントロールセンタ”を開発し、市場投入している。また、海外拠点での生産を拡大しつつある。

6. む す び

以上、受配電システムに関する技術の歩み、最近の技術動向と当社取り組みについて述べた。

受配電システムに対する地球環境問題、一層の安全性・信頼性向上、ライフサイクルコスト低減、グローバル化の各社会的ニーズは、今後ともますます重要性が高まると考えられる。これらに対し当社が基礎技術から体系的に取り組み、これを応用・製品化することで社会に貢献しようとしていることを本稿により理解いただければ幸いである。

24kV 低ガス圧 ドライエア絶縁スイッチギヤ“HS-X”

有岡正博* 矢野知孝*
佐藤伸治** 吉田忠広*
竹内敏恵**

24kV Dry Air Insulated Switchgear “HS-X”

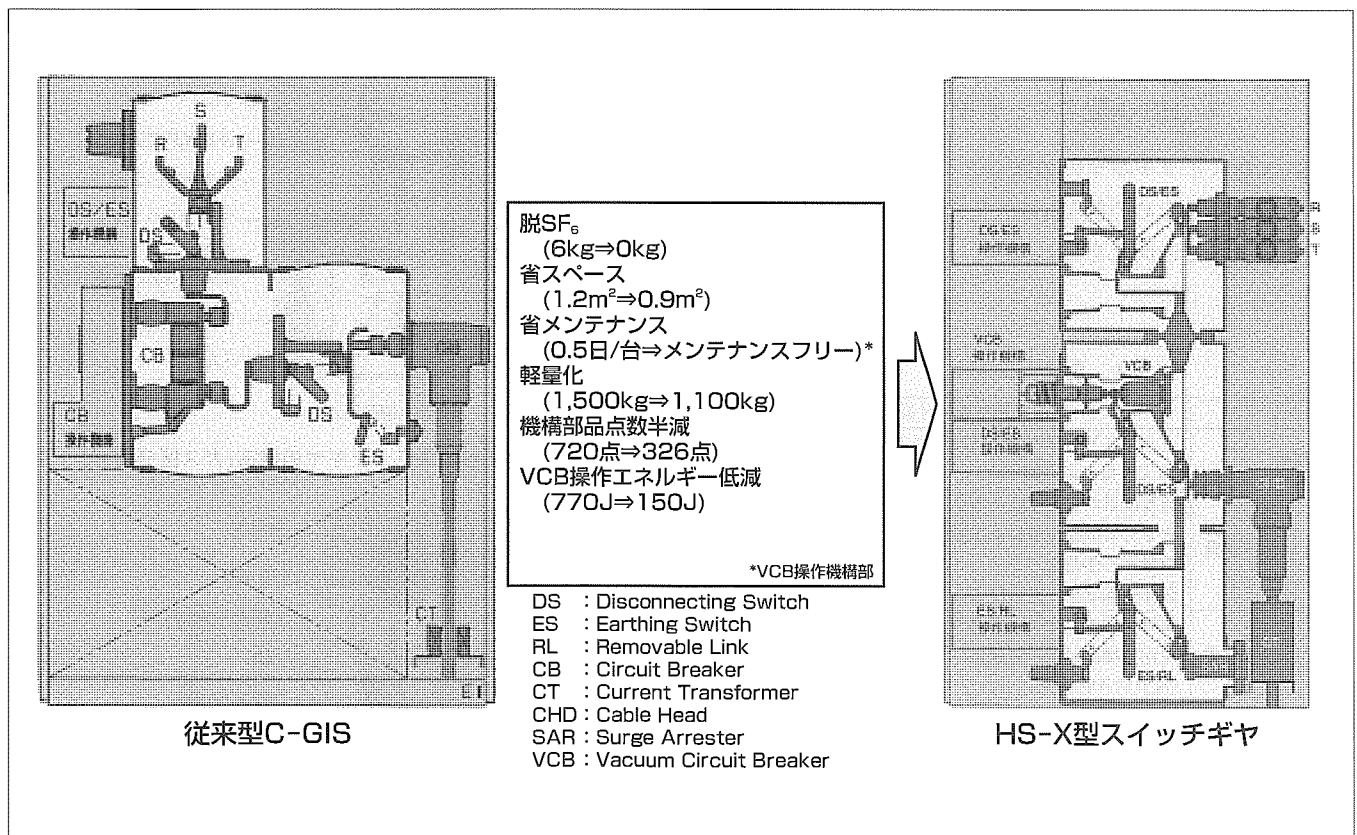
Masahiro Arioka, Shinji Sato, Toshie Takeuchi, Tomotaka Yano, Tadahiro Yoshida

要 旨

国内外の送配電及び受配電で用いられているガス絶縁スイッチギヤ(GIS)は、1970年ごろから採用され、三相分離型→三相一括型→キュービクル型(C-GIS)へと移行し、小型・軽量化、信頼性向上、ライフサイクルコスト(LCC)低減、環境負荷低減が図られてきた。現在中圧クラス以上のキュービクル型ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)は優れた絶縁性能・消弧性能と安全性を持つSF₆ガスが主流であるが、1997年の地球温暖化防止京都会議以降、SF₆ガスの排出量削減とともに、脱SF₆ガススイッチギヤが望まれてきた。

24kV 低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤ“HS-X”(以下、HS-X型スイッチギヤという。)は、地球温暖化防止を目的とし、三菱電機が1999年に実用化したドライエア(相対湿度1,000ppm以下)と絶縁バリヤによる複合絶縁を

適用することで、業界に先駆けて脱SF₆ガス化を実現した製品である。さらに、一層の環境負荷低減とLCC低減を目的として、真空遮断器(VCB)には、開極/閉極の両操作を電磁力によって行い、開極/閉極状態保持を永久磁石の磁力によって行うMIDY(Mitsubishi Double Yoke magnetic actuator)式電磁操作機構を採用した。主接点を直動させることによるラッチ機構などの消耗部品レス化と、中間連結機構をなくすことで部品点数半減を実現し、大幅に信頼性を向上するとともに、操作機構部をメンテナンスフリーとした。さらに、過渡電磁界と運動の連成解析手法を新規に開発・適用し、電源容量と構造の最適化を行うことで、従来の電動ばね操作方式VCBに比べ動作に必要な電気エネルギーを80%削減し、操作電源用バッテリー容量の大幅な低減を実現した。



従来型C-GISとHS-X型スイッチギヤの比較

24kV当社従来型C-GIS(SF₆ガス絶縁)とHS-X型スイッチギヤの比較を示す。

1. ま え が き

国内外の送配電及び受配電で用いられているガス絶縁スイッチギヤは、1970年ごろから採用され、三相分離型→三相一括型→キュービクル型へと移行し、小型・軽量化、信頼性向上、ライフサイクルコスト低減、環境負荷低減が図られてきた。

現在、中圧クラス以上のキュービクル型ガス絶縁スイッチギヤは、優れた絶縁性能と安全性を持つSF₆ガスが主流である。SF₆ガスは、無毒・無臭に加え絶縁性能・消弧性能に優れることから、1965年ごろから6.6~1,000kVのスイッチギヤ、遮断器、変圧器の絶縁媒体及び消弧媒体として幅広く用いられてきた。しかし、1997年の地球温暖化防止京都会議以降、SF₆ガスの排出量削減とともにSF₆ガスを用いない脱SF₆ガススイッチギヤが望まれてきた。

このような背景から、当社は、1999年にドライエア絶縁とバリヤ絶縁を複合したHS-X型スイッチギヤを業界に先駆けて開発・適用し、2004年に更なる保守性・信頼性の向上を目的として電磁操作式VCB搭載タイプを開発した。このスイッチギヤはSF₆ガスを全く使用せず、従来のC-GIS(SF₆ガス絶縁)より小型・軽量化を実現し、LCCの低減や安全性・信頼性の向上を図った環境負荷低減型のスイッチギヤである。

本稿では、このスイッチギヤの概要と新技術について述べる。

2. HS-X型スイッチギヤの概要

HS-X型スイッチギヤの開発コンセプトを表1に示す。環境負荷低減のための脱SF₆ガス化のほかに、LCC低減、安全性・信頼性の向上を図った。

表1. 開発コンセプト

コンセプト	新技術/対策
環境調和	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライエア絶縁の採用(脱SF₆ガス) ・VCBの操作音低減
ライフサイクルコスト低減	工事費 <ul style="list-style-type: none"> ・機器配置の最適化による小型化 ・タンクの薄板化等による軽量化 ・複数面一体発送 ・固体絶縁母線の採用による据付け時ガス処理レス化
	運用費 <ul style="list-style-type: none"> ・電磁操作式VCBによる操作エネルギー低減 ・主回路機器配置の最適化による発熱量低減(電力ロス削減)
	保守費 <ul style="list-style-type: none"> ・電磁操作機構部のメンテナンスフリー化 ・気中しゅう動部位に長寿命グリス使用 ・操作部、試験用端子の前面配置
	廃却費 <ul style="list-style-type: none"> ・ドライエア絶縁の採用(ガス回収不要)
安全性/信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・構造を単純化 ・部品点数を削減 ・電磁操作機構による主接点直動 ・操作機構部の損耗部品レス化(8万回の単体開閉試験をクリア)

定格及び仕様を表2に、代表的な構造を図1及び図2に示す。密閉容器内に主回路を収納し、大気圧近傍の低ガス圧ドライエア(乾燥空気)と多機能円筒ホルダ(エポキシ)の複合絶縁により完全脱SF₆ガス化を実現した。さらに、VCBは各相ごとに電磁操作機構を搭載し、主接点を直動することにより、ラッチレバーレス化と部品点数半減を実現し、大幅に信頼性を向上するとともに、操作機構部のメンテナンスフリーを実現した。

3. HS-X型スイッチギヤを実現した新技術

3.1 ドライエア絶縁技術の開発

ドライエアの耐電圧はSF₆ガスの約1/3と低い。必要耐

表2. HS-X型スイッチギヤの定格及び仕様

項目	仕様	
定格電圧 (kV)	24	
定格耐電圧	雷インパルス (kV peak)	125 (DS極間145)
	商用周波 (kV rms)	50 (DS極間60)
定格周波数 (Hz)	50/60	
定格母線電流 (A)	630/1,250	
定格電流 (A)	630/1,250	
定格短時間耐電流 (kA)	25 (3秒)	
定格ガス圧力 (MPa.G at 20°C)	0.07	
準拠規格	JEM, JEC, IEC	

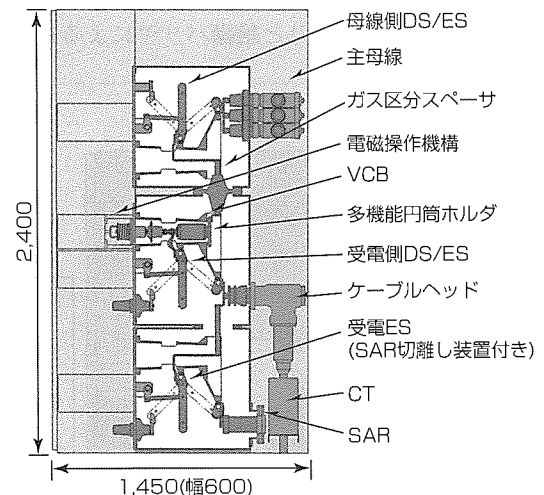


図1. HS-X型スイッチギヤの構造(ガス区分あり)

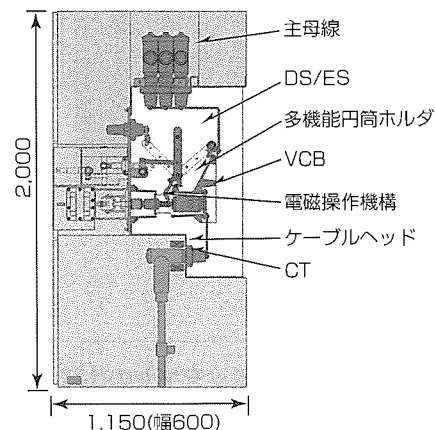


図2. HS-X型スイッチギヤの構造(ガス区分なし)

電圧を得るため充填(じゅうてん)圧力を0.3MPa.abs.以上とする高圧ガス構造をとる方法もあるが、ガスタンクの機械強度確保のため板厚が増大するばかりかタンク構造が制限される。そこで、今回の機種では、定格ガス圧力を0.3MPa.abs.以下とする低圧ガス構造とするために、導体曲率半径と導体間距離の最適化及び絶縁バリヤ配置の最適化により耐電圧性能を向上させた。また、多機能円筒ホルダの開発で絶縁バリヤを極少化し、部品点数削減と組立性の向上を図った。

3.1.1 電界利用率を用いた最適電界設計

導体曲率と導体間距離を最適化するための設計基準作成のために、電界利用率(ギャップ平均電界/同最大電界)と破壊電界の基本的関係を明確にした。これは、C-GISではガスタンク内部に様々な不平等電界ギャップが形成され、破壊電界は電界分布に依存するためである。図3に、基本ギャップ(先端形状の異なる棒及び平板-平板)でのドライエア中における電界利用率と破壊電界の関係を示す。スイッチギヤ内部に形成される各種ギャップの電界利用率は0.5以下の場合が多く、同図から電界利用率と最低破壊電界を求めることにより、各ギャップの電界利用率に応じた電界設計を可能とし、導体曲率と導体間距離を最適化した。

3.1.2 絶縁バリヤ高さの最適化

導体間及び導体-対地間に挿入する絶縁バリヤの最適化については、図4の(a)のように実機の模擬ギャップを製作し、バリヤ高さを変えて破壊電圧を測定した。同図(b)がその結果であり、バリヤ高さが試験電極高さを上回ると破壊電圧が上昇していき、バリヤの実効高さが約30mmに達すると破壊電圧上昇が飽和する。この結果により、絶縁バリヤを極小化することができた。

3.1.1項及び3.1.2項の結果を基に製作した実機モデルを用いて導体間距離 d と破壊電圧の関係を測定した結果を図5に示す。この試験により、上記手法を基に設計した最適化構造で所定の耐電圧性能が得られることを確認した。

以上のように、基本ギャップ、模擬ギャップ、実機モデルによる試験結果から、ガス空間ギャップの導体曲率及び導体間距離と破壊電圧の関係、絶縁バリヤの高さ及び導体間距離と破壊電圧の関係を明確化することによりドライエ

ア絶縁設計基準を確立できた。

3.2 電磁操作方式VCB

3.2.1 VCBの構造

HS-X型スイッチギヤ用VCBの概略構造を図6に示す。このVCBでは、従来のばね操作式に代わり、当社独自のMIDY式電磁操作機構を開発し適用している。部品点数削減での信頼性向上、消耗部品(ラッチレバーなど)レス化、グリスレスによる省メンテナンス化を目的とし、真空バルブ、絶縁ロッド、接圧ばね及び電磁操作機構を直線上に配置した直動型各相個別駆動とすることにより、三相リンク機構を廃止した。この電磁操作機構の構造を図7に示す。第1積層ヨーク、第2ヨーク、永久磁石、積層可動子及び

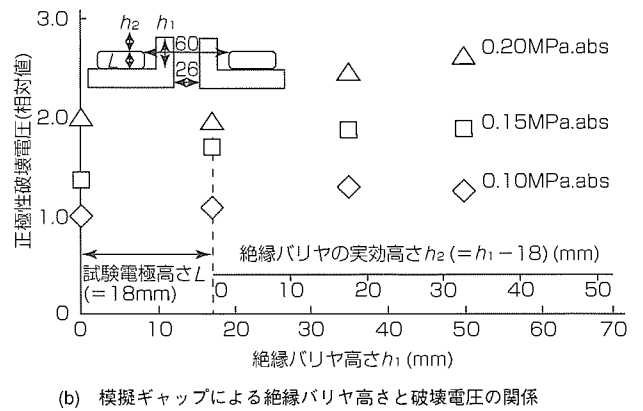
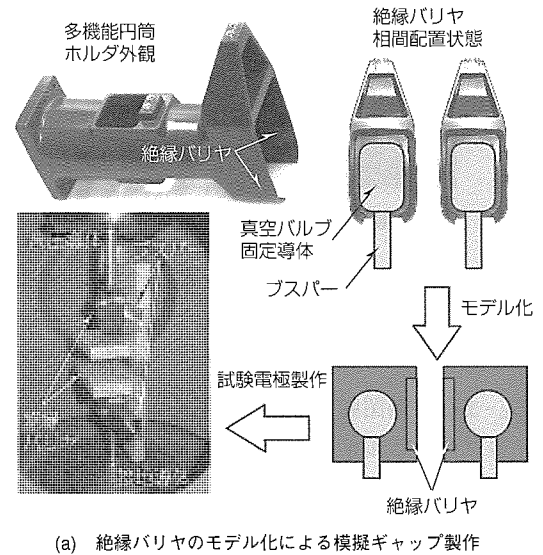


図4. 多機能円筒ホルダの絶縁バリヤの高さに関する検討

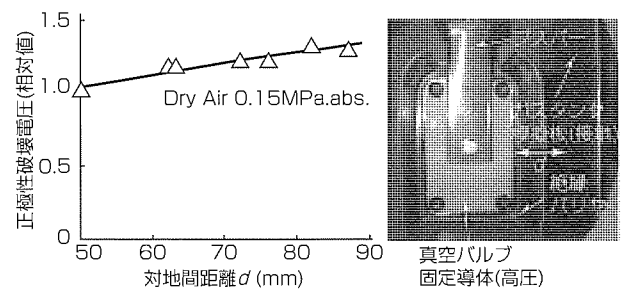
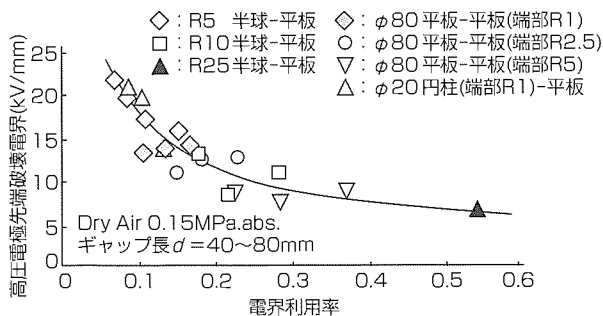


図3. ドライエア中高圧導体の先端破壊電界と電界利用率の関係(基本ギャップ)

図5. 多機能円筒ホルダの絶縁バリヤ部の対地間距離検討(実機モデル)

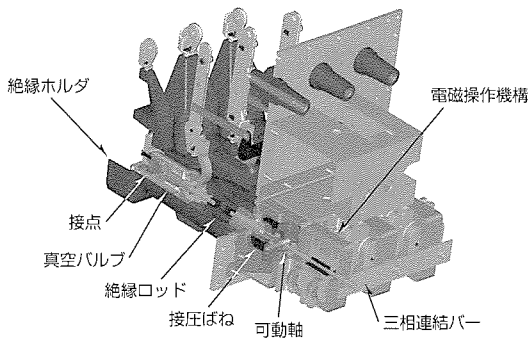


図 6. HS-X型24kVスイッチギヤ用VCB構造

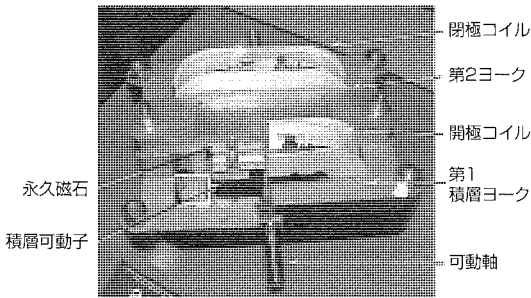


図 7. 電磁操作機構カットモデル

開閉極用コイルからなる構造であり、当社従来品(ばね操作式)に対して部品点数は55%に削減されている。永久磁石を採用することで、外部電源を供給せずに関閉保持が可能である。また、開閉動作は、開閉用それぞれのコンデンサに蓄積されたエネルギーを制御回路を用いて開極コイル又は投入コイルに通電することにより行う。第2ヨークの採用は当社独自の構造であり、永久磁石磁路(開閉保持)とコイル励磁磁路(開閉動作)を分割することで、永久磁石の逆励磁を生じず、開閉動作を高効率化できる。さらに、可動子を積層構造にすることで、駆動時の渦電流を極小化し省電力駆動を可能にした。

3.2.2 連成解析技術

VCBの高効率で安定した開閉極動作を実現するために、その駆動解析として過渡電磁界と運動の連成解析手法を開発した⁽²⁾。この手法では、電磁操作機構の可動子周辺に発生する磁束、電磁力のコイル電流及び可動子間の位置依存性を三次元静電磁界解析により求め次の式(1)、式(2)を連成解析している。

$$\frac{q(t)}{C} + I_{coil}(t) \cdot (R_{coil} + R_{out}) + \frac{d\phi(I_{coil}(t), z(t))}{dt} = E, \quad \frac{dq(t)}{dt} + I_{coil} \dots(1)$$

$$m(z(t)) \frac{d^2z}{dt^2} = F_m(I_{coil}(t), z(t)) + F_s(z(t)) + F_{friction} \dots(2)$$

渦電流による磁束及び電磁力の遅れは、時定数 τ を用いて表現し、磁束(ϕ)及び電磁力(F)に取り込んだ。時定数 τ は電磁操作機構単体の駆動試験結果を基に求めた。また、真空バルブの接圧ばね力及び遮断器可動部の質量変化の不連続性は、運動量保存則を適用して考慮した。図8に遮断器開極におけるこの解析結果(○印)と実機における実測結

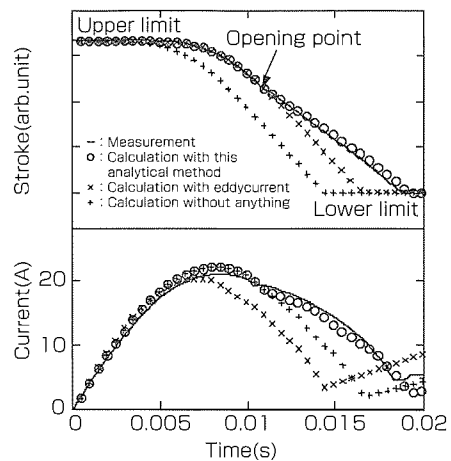


図 8. 連成解析結果と実測結果の比較

表 3. 三相間の開閉極時間ばらつき計算結果

	製作誤差	Worst (100%)	3 σ (99%)	2 σ (95%)
三相ばらつき				
開極時間ばらつき (ms)		2.8	2.0	1.3
閉極時間ばらつき (ms)		3.4	2.4	1.6

果(実線)を示す。同図において、上側は開極ストローク、下側はコイル電流の時間変化を示す。時定数 τ と運動量保存則の適用により、ストローク、コイル電流ともに、解析結果が測定結果とよく一致している。これにより、この解析が高精度で電磁操作機構の開閉特性を再現できることが分かった。この解析を適用して最適設計を実施した結果、駆動エネルギーを従来のばね操作機構から80%削減できた。また、この手法を用いて製造上の部品誤差、組立誤差による開閉極時間ばらつきを検討した(表3)。表に示すとおり、開閉極時間のばらつきは極めて小さく、試作機での開極時間ばらつきは0.5ms以下であった。

4. む す び

低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤHS-Xは、環境負荷低減を実現するスイッチギヤとして1999年の市場投入以来約800台を納入し運転中である。また、今回開発した電磁操作機構搭載型も市場での好評を得ている。今後、ドライエア絶縁技術及び電磁操作式VCBは、他の定格への展開を図りシリーズ化を行っていく。

参考文献

- (1) Sato, S., et al : Development of Compressed Air Insulation Technology for C-GIS, IEEJ Trans. PE, **124**, No.9, 1132~1138 (2004)
- (2) Takeuchi, T., et al : An Electromagnetically Actuated Vacuum Circuit Breaker Developed by Electromagnetic Analysis Coupled with Motion, IEEJ Trans. PE, **124**, No.2, 321~326 (2004)

7.2kV複合絶縁開閉装置“MS-S”

7.2kV Composite Insulated Switchgear “MS-S”

Yuichi Yamaji, Toshiharu Ando, Takao Tsurimoto, Takafumi Nakagawa

要旨

近年、高度情報化社会において電力の安定供給は必要不可欠なものとなる中で、電気設備には一層高い信頼性が要求されている。また、設備自体のコストのみだけでなく、その設備のライフサイクルコストの低減、すなわち据付面積の縮小化によるスペースの有効利用、設備を納入場所まで輸送する費用や工期短縮による工事費の低減、定期点検周期延長と点検時間の短縮などが求められている。

これらのニーズに対して、充電部に固体絶縁技術を適用し、耐電圧性能の信頼性向上を図り、定期点検周期延長を実現するとともに、内部構造の最適化により小型化・軽量化・低電力損失化した複合絶縁開閉装置を開発した。また、この複合絶縁開閉装置には、変流器をワイドレンジ化し零相変流器と一体化した複合変流器と、これに対応したデジタル形保護リレーを搭載し、生産設備増設時の変流器の取替作業を不要とした。

この複合絶縁開閉装置の特長は次のとおりである。

(1) 省スペース

開閉装置寸法の小型化とともに、前後面の保守スペースの縮小化により据付面積を53%低減できる(当社従来比)。

(2) 省資源

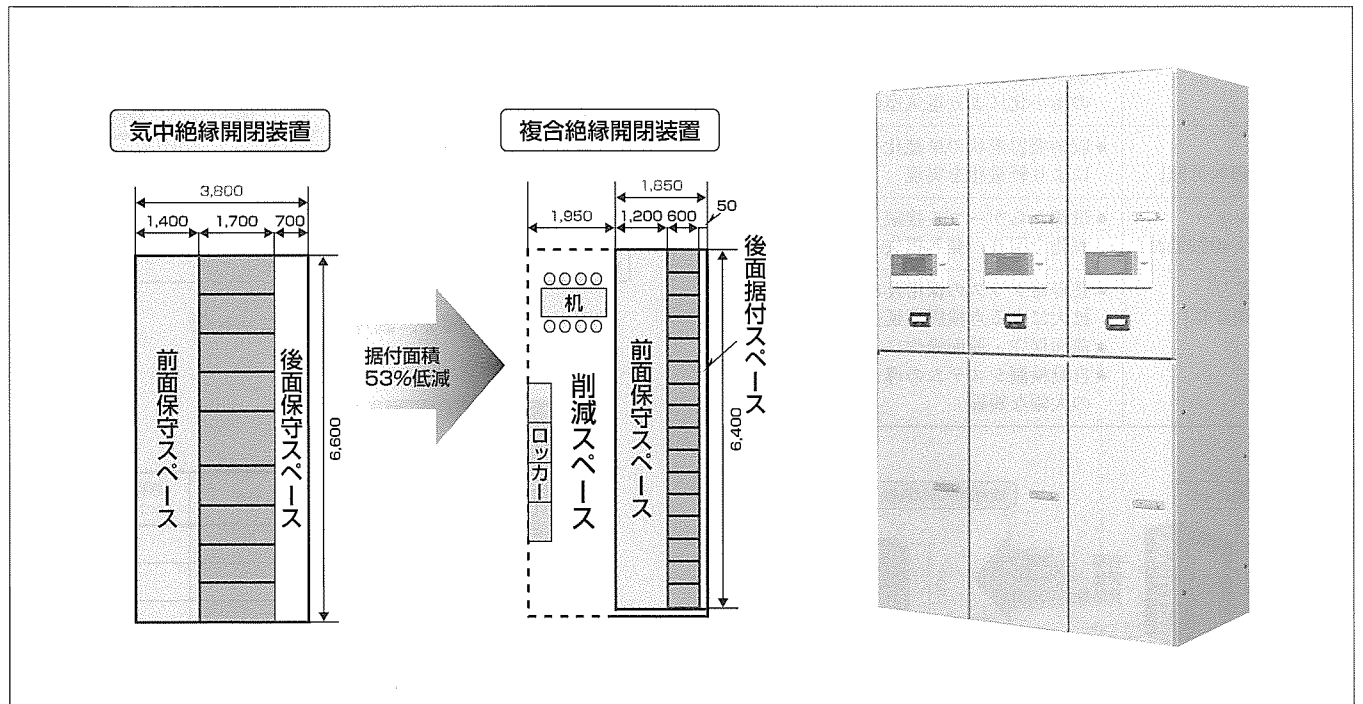
開閉装置寸法の小型化とともに、軽量化によりエレベーター搬入が可能となり、搬入・据付けが容易であり工事費を削減することができる。

(3) 省エネルギー

発熱損失を40%低減(当社従来比)することにより、年間で1,750kW・hの電力量を節電できる。

(4) 保守の省力

固体絶縁技術の適用により定期点検周期を3年から6年へ延長することを実現した。また、前面保守・前面操作に加え、デジタル形保護リレーの搭載により作業能率が向上する。



7.2kV複合絶縁開閉装置MS-S

今回開発製品化した複合絶縁開閉装置を適用すると電気室の据付面積を53%低減できる(当社従来比)。右の写真は3回路分を列置した状態の外観である。内部の充電部は固体絶縁技術を適用し、耐電圧性能の信頼性向上を図るとともに、小型化を実現した。また、扉正面にはデジタル形保護リレーを搭載し、信頼性の向上と保全業務の省力化を実現している。

1. ま え が き

独自の固体絶縁技術を採用した複合絶縁開閉装置MS-Sは、定期点検周期の延長と、更に大幅な小型化を実現した。定格電圧7.2kVクラスの汎用開閉装置では、国内で三菱電機が初めて固体絶縁を採用した。

本稿では、この複合絶縁開閉装置MS-Sに適用した新技術について述べる。

2. 複合絶縁開閉装置MS-S

表1に複合絶縁開閉装置MS-Sの定格事項を示す。

この複合絶縁開閉装置MS-Sの主な特長を表2に示す。また、図1に、今回開発した複合絶縁開閉装置と当社の気

表1. 定格事項

項目	
定格電圧 (kV)	7.2
定格電流 (A)	630/1,250
定格周波数 (Hz)	50/60
商用周波耐電圧(1分間) (kV rms)	22
雷インパルス耐電圧 (kV peak)	60
定格短時間耐電流 (kA)	12.5/20

準拠規格：日本電機工業会規格JEM 1425

表2. 複合絶縁開閉装置MS-Sの特長

①省スペース [据付面積65%低減]	<ul style="list-style-type: none"> ●高さ1,900mmとし、一般のエレベーターでの搬入が可能 ●前面保守・前面操作による後面保守スペースの削減 ●開閉装置の小型化及び前面保守スペースの縮小化により電気室の縮小化に貢献
②省資源 [盤質量40%低減]	●収納機器形状の単純化や実装効率の向上により軽量化を実現
③省エネルギー [発熱損失40%低減]	●母線からケーブル接続点までの回路の最短化を図り、発熱損失を低減
④保守の省力 [点検周期6年]	<ul style="list-style-type: none"> ●長寿命グリスの採用及び絶縁浴面距離の拡大による点検周期延長 ●前面保守・前面操作による作業能率向上 ●自動検測システムの導入により点検時間の大幅な短縮

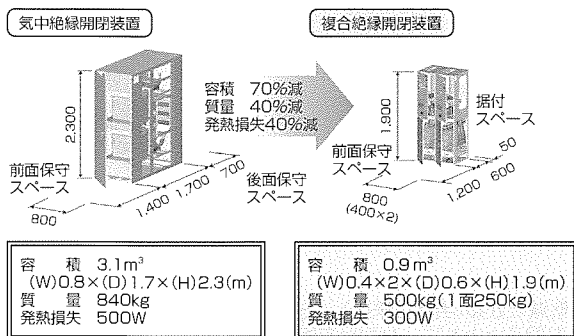


図1. 当社気中絶縁開閉装置と複合絶縁開閉装置の比較(2回路構成)

中絶縁開閉装置との比較を示す。

3. 固体絶縁技術

3.1 固体絶縁ユニット化

図2に、開閉装置の小型化・軽量化・低電力損失化を目的として固体絶縁技術を採用した部位を示す。固体絶縁技術を採用した部位には複数の機能を持たせ、部品点数の削減や発熱損失の低減を図っている。この装置は、真空遮断器の真空バルブ(Vacuum Switching Tube：VST)を含む主回路部のVSTユニット、主母線部の母線導体ユニット、分岐部の分岐導体ユニットの3ユニットで構成されている。これら3ユニットは“通電”“絶縁”“支持”“接続”の4つの機能を併せ持っているが、VSTユニットはさらに“遮断”の機能を持っている。また、母線からケーブル接続部までの回路を最短化し低損失化を図るため、VSTユニットを母線ユニットに直接接続する垂直接続構造とした。

3.2 一体成型技術

(1) 固体絶縁実現の課題

図3にVSTユニットの断面図を示す。VSTユニットは、VSTとそれに接続する上部導体、下部導体及びVSTユニット支持用埋金をエポキシ樹脂により一体成型した固体絶縁ユニットである。したがって、エポキシ樹脂により一体成型されているインサート材料は、銅、ステンレス、セラミックス、黄銅と多岐にわたり、それぞれの線膨張率がエ

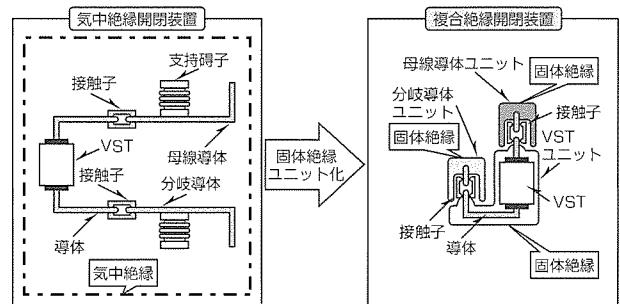


図2. 固体絶縁ユニット化

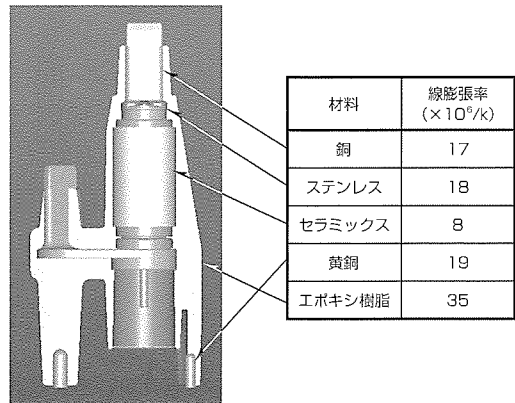


図3. VSTユニット断面図

ポキシ樹脂と大きく異なる。一般にエポキシ樹脂と線膨張率が大きく異なるインサート材料を注型すると、線膨張率の差によって残留応力が増大し、インサート材料の界面ではく離やクラックが発生する。このはく離やクラックが、最終的に絶縁破壊の原因になる。

したがって、注型時に発生する残留応力を低減する必要があり、熱応力解析を用いてインサート部材の最適形状を決定し、内部に発生する残留応力を算出した。さらに、界面処理技術を用いて残留応力の軽減を図った。

(2) 熱応力解析

この内部に発生する残留応力について熱応力解析を行い、残留応力を低減する構造及び各インサート部材の形状やエポキシ樹脂厚さ等を決定した。図4はVSTユニットの熱応力解析結果の一例であり、この解析結果から、注型時の残留応力によるはく離が懸念される部位は上下のセラミックス端部であることが明確となった。

このような解析を行いつつ、さらに、エポキシ樹脂の材料特性は変更せず上下のセラミックス端部に発生する残留応力を極小化し界面はく離やクラックを発生させない構造とするために、エポキシ樹脂とインサート部材との界面に応力緩和層を設ける構造とした。

(3) 界面処理技術

応力緩和層には、界面ではく離を発生させないために、エポキシ樹脂と各インサート材料の両方に対して密着力が必要である。このための材質として、膨張や収縮などの熱ひずみを吸収する特性を持つ弾性接着剤と、さらに、一つの分子中に反応性の異なる2種類の官能基を持ち、有機質・無機質材料に対して化学結合するシランカップリング剤の2種類を比較・検討することとした。この2種類の材質に対して、密着性評価試験による応力緩和層の破断強度の測定を行った。また、注型後、ヒートサイクル試験後、ヒートショック試験後の界面はく離やクラックの有無を特定するため、部分放電試験によるコロナ消滅電圧を測定した。

図5に、セラミックスとエポキシ樹脂間、ステンレスとエポキシ樹脂間に弾性接着剤とシランカップリング剤をそれぞれ塗布した場合の破断強度を示す。この試験結果では、熱応力解析で得られた最大残留応力値よりも弾性接着剤及びシランカップリング剤ともに高い破断強度値を示す。さらに、シランカップリング剤の方が弾性接着剤よりも高い破断強度を示す。

また、エポキシ樹脂とインサートの界面部に弾性接着剤、シランカップリング剤を塗布した場合の部分放電試験結果を図6に示す。

部分放電試験は、注型後、ヒートサイクル試験後、ヒートショック試験後の3回実施し、コロナ消滅電圧を測定した。試験結果から、双方とも界面はく離やクラックが発生していないが、シランカップリング剤の方が弾性接着剤よりもばらつきが小さく、コロナ消滅電圧が高い値を示している。

以上の密着性評価試験及び部分放電試験の結果から、内部に発生する残留応力を低減しエポキシ樹脂と各インサート材料の両方に対して密着力を持つシランカップリング剤を最適な応力緩和層の材料として採用した。

さらに、シランカップリング剤の適用に当たり、シランカップリング剤の希釈濃度や膜厚、着色添加剤量が与える界面の破壊強度への影響を明確にし、インサート表面処理

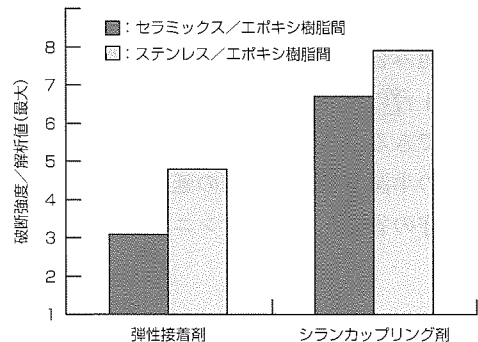


図5. 応力緩和層の密着性評価試験結果

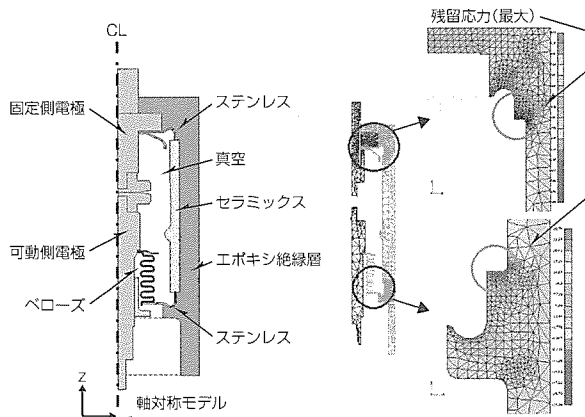


図4. 熱応力解析結果

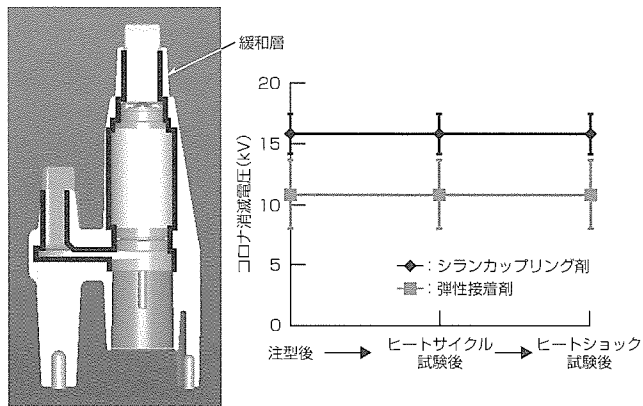


図6. 部分放電試験結果

の適正化を図った。

4. 複合変流器及びデジタル形保護リレー

測定電流60～600Aの範囲を従来12種類の個別定格変流比の変流器から選択し使用してきた。これを1種類の定格でカバーできるようワイドレンジ化し、さらに、零相変流器と一体化した複合変流器を開発した。また、これに対応できるデジタル形保護リレーを開発した。

(1) 複合変流器

図7に、ワイドレンジ化した変流器とトラック形の零相変流器を一体成型した複合変流器の外観を示す。ワイドレンジ化は高透磁率で直線性に優れたけい素鋼板巻き鉄心とトロイダルコイルで実現し、専用のデジタル形保護リレーに適合した負担とすることで体積は当社現状品の1/10程度に小型化した。この計器用変流器のワイドレンジ化により、生産設備増設時などによる計器用変流器の取替えが不要となる。

(2) デジタル形保護リレー

デジタル形保護リレーは、電磁機械形やアナログ静止形保護リレーではできなかった過電流保護や過電圧保護などの異なった保護機能を一体化し、さらに、従来、盤面に取り付けられていたメータや表示器、操作スイッチなどを1台の装置に複合化したものである。

図8には、デジタル形保護リレー(MP22)の外観を示す。

このデジタル形保護リレーの自動点検機能を受配電監視システムと組み合わせることにより、多数の保護リレーの特性試験を1台のパソコン端末を操作することにより実施することができる。これにより、試験時間が低減でき、保守作業時間の半減及び点検周期の延長(3年→6年)が可能となり、保守の省力化並びにランニングコストの削減に貢献できる。

5. む す び

今回開発した7.2kV複合絶縁開閉装置MS-Sの固体絶縁

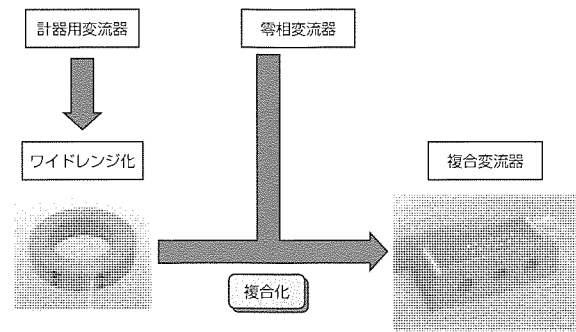


図7. 複合変流器の外観

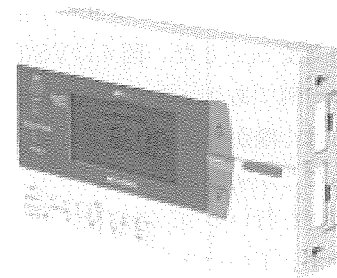


図8. デジタル形保護リレー(MP22)の外観

技術、複合変流器及びデジタル形保護リレーについて述べた。今後、電気設備用機器は更に高密度化・環境適合化が進み、常時監視化も進むと考えられ、電気設備として、一層の小型化、省力化、ライフサイクルコスト低減、環境負荷低減が必要になると考える。

参 考 文 献

- (1) 山地祐一, ほか: 7.2/12kV固体絶縁ユニット形スイッチギヤの開発, 放電・開閉保護・高電圧合同研究会, ED-03-172 (2003-11)
- (2) 山地祐一: 最近の電気設備用機器の技術動向, 電気評論, 12~15 (2004-8)

海外規格(IEC規格)適合 F形モータコントロールセンタ

林 和史*
岩澤頼晃*

The F-type Motor Control Center applied IEC Standard
Kazufumi Hayashi, Yoriaki Iwazawa

要 旨

国内プラント市場においては、新規設備投資が減少している。一方、中国、中東、東南アジアにおいては新規設備投資が活発であり、さらに、国内製造業の海外投資も拡大している。

また、これらの地域におけるコントロールセンタの顧客仕様としてIEC(International Electrotechnical Commission)規格の要求が増加傾向にあり、製品のIEC規格対応が不可欠であるとともに、規格上規定されないが、一般的な要求仕様(ユニットの全自動連結構造等)を標準で満足する製品が必要である。

本稿は、このような市場向けに開発されたIEC規格標準対応のF形モータコントロールセンタについて述べる。

主な特長は以下のとおりである。

(1) IEC規格に標準対応

盤内区画の完全隔離による本質安全構造、短絡遮断後もユニットを再使用できる保護協調特性を実現

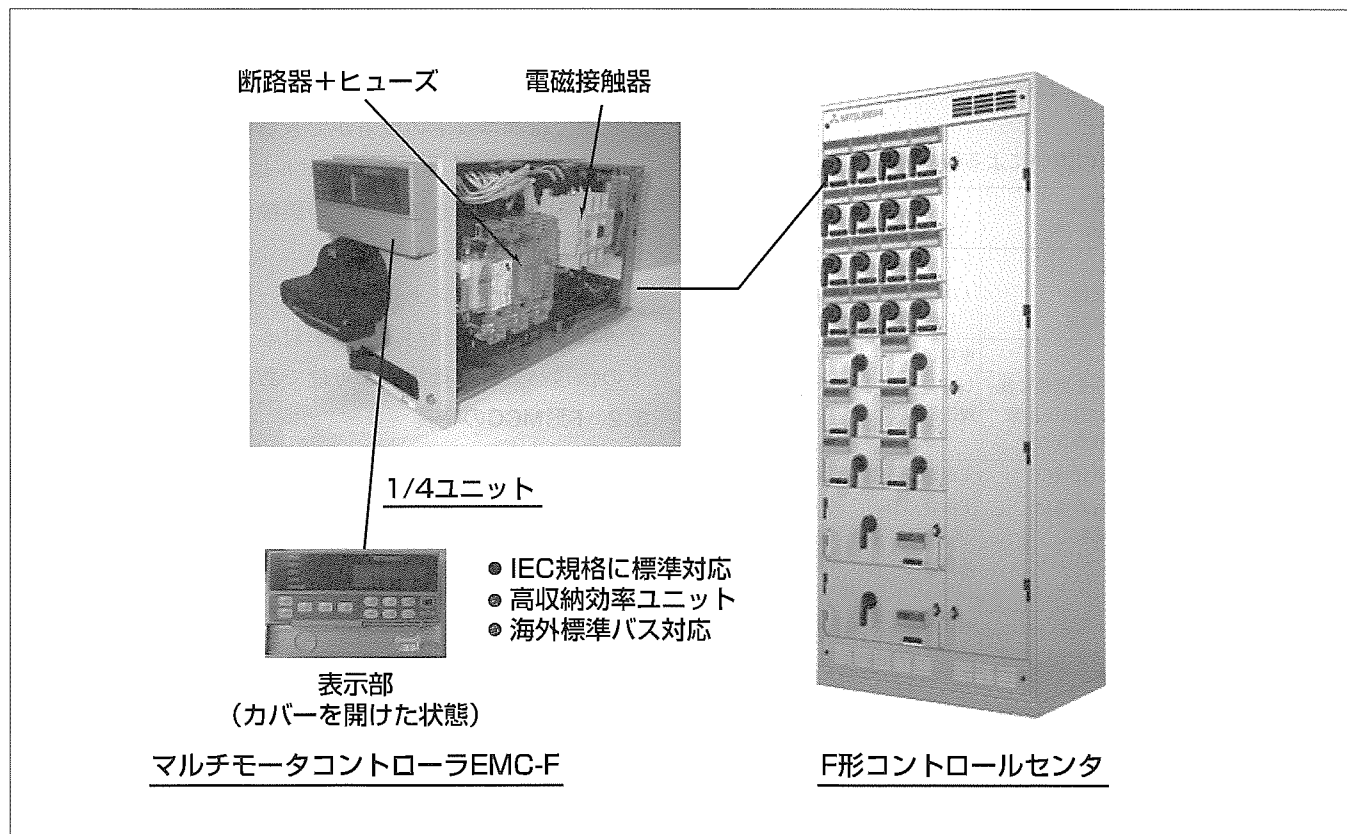
(2) 高効率収納による省スペース化

小型箱型ユニット(1/4ユニット)の開発により、従来の縦方向のユニット段積みに加え、横方向にも4台までユニット収納を可能とし、収納効率を大幅に向上

(3) 海外標準伝送対応マルチモータコントローラEMC-F (Electronic multiple Motor Controller type-F)

マルチコントローラとして業界最小クラスを実現。また、海外標準伝送バス(Modbus)を装備することで、海外プラントへ容易に適合可能。

特集
I



F形コントロールセンタ

1/4ユニットの適用により、1面当たり最大40ユニット収納可能である。負荷の保護、制御、計測、表示機能を持つマルチモータコントローラEMC-Fは常時使用する表示部を盤面に配し、本体部はユニット内部に収納することで高収納性を実現した。これにより、1/4ユニットにも収納可能とした(業界初)。マルチモータコントローラEMC-FのDC4~20mA出力を使用することで電流計測回路の消費エネルギー削減が可能であり、また、伝送システムを使用すれば配線工事費が大幅に削減できる。

1. ま え が き

国内プラント市場においては、新規設備投資が減少している。一方、中国、中東、東南アジアにおいては新規設備投資が活発であり、さらに、国内製造業の海外投資も拡大している。これらの地域における顧客仕様としては、IEC規格の要求が主流となってきている。

以上の背景に対し、海外市場でのニーズに対応するため開発したIEC規格適合のF形モータコントロールセンタ(以下“F形MCC”という。)について述べる。

2. コントロールセンタの規格

韓国、台湾では米国・日本系製品(NEMA規格, JEM規格準拠)が一般的であり、中国、中東、東南アジアでは欧州系製品(IEC規格準拠)が主流である。

規格の観点から両者を比較すると、NEMA, JEM規格に対し、IEC規格はより安全性重視となっている(表1)。

3. F形MCCの仕様と特長

表2にF形MCCの一般仕様を示す。また、主な特長を以下に述べる。

3.1 F形MCCの仕様

(1) 盤内内部仕切りによる本質安全構造

IEC規格では、盤内内部区画の形態をForm1~4bで規定している。Formは盤内において仕切り板等により構成さ

表1. 規格の違いによる製品比較

	欧州系製品 (IEC60439-1)	米国・日本系製品 (NEMA ICS18, JEM1195)
負荷短絡遮断時	・アーク発生なし ・ヒューズのみ交換 (ユニット再使用可)	・アーク発生 ・ユニットごと交換 (ユニット修理後使用可)
内部仕切り構造	・本質安全構造 ・内部区画の形態を厳格に規定し、Form4bでは不用意に充電部に接触できない	専用員による取扱いを前提としており、内部区画に関する規定は緩い。
ユニット構造	主回路(電源): 自動連結 主回路(負荷): 自動連結 制御回路: 自動連結	主回路(電源): 自動連結 主回路(負荷): 端子連結 (オプションで自動連結) 制御回路: 端子接続 (オプションで一括コネクタ接続)
盤構造	片面形40ユニット収納 盤幅: 1,000mm程度	両面形18ユニット収納 盤幅: 600mm程度

表2. F形MCCの一般仕様

項目	仕様
適用規格	IEC60439-1
箱体保護構造	IP20~IP43
絶縁電圧	AC 690V
定格最大電流	AC 4,000A
適用最大容量	電源ブレーカ2,500A モータスタータ400kW(AC 440A)
引き出し可能容量	300kW(AC 440A)
外形寸法	1,000×600×2,300(W×D×H: mm)

れた個々のコンパートメント又は閉鎖された保護スペースの分離の状態を示し、Form1は内部区画なしであるが、最高レベルのForm4bは母線室、ユニット室、ダクト室等を各々完全分離している。

F形MCCは、Form4bに対応し、不用意に充電部に接触できない本質安全構造となっている。

(2) 短絡遮断後もユニット再使用可能

スタータのIEC規格(IEC60947-4-1)では、短絡遮断時の性能が規定されている(コーディネーションTYPE1, 2)。コーディネーションTYPE1は短絡遮断時スタータが損傷してもよく、遮断後のスタータ交換が認められているが、TYPE2では、スタータの軽微な損傷しか許されず、遮断後も引き続き使用できなければならない。

F形MCCは、主回路にヒューズを採用し、短絡遮断後もヒューズリンクを取り換えればユニットの再使用が可能である(コーディネーションTYPE2に対応)。

(3) 主回路、制御回路の完全自動連結化

ユニットは、主回路(電源、負荷)、制御回路とも自動連結による接続を標準とし、容易なユニット脱着を可能とした。ユニットを引き出したテスト位置では、主回路断路で制御回路は接続しており、試験を容易に行うことができる(図1)。

(4) 3インタロックに対応

ユニット扉は主回路が閉路では開けることができず、扉が開いた状態では主回路を閉路できない。また、主回路閉路状態ではユニットの脱着ができない安全構造としている。ヒューズスイッチの操作ハンドルはOFF状態でパドロックによる施錠ができ運用面での誤操作防止に配慮している。

(5) 海外標準伝送への対応

マルチモータコントローラEMC-F(以下“EMC-F”という。)は海外標準伝送バスに標準対応しており、海外プラントの伝送バスに直接接続が可能である。

3.2 F形MCCの特長

(1) 高効率収納による省スペース化

コントロールセンタ本体へのユニット収納方法として、縦方向の段積みに加え、横方向(一段)に4台までユニット収納を可能とする1/4ユニット(図2)を開発した(W×D×H=140×330×200: 単位mm)。この1/4ユニットにより、1面当たり最大40ユニット収納可能となり業界最高レベルのユニット収納効率を実現した(図3)。ユニット高効率収

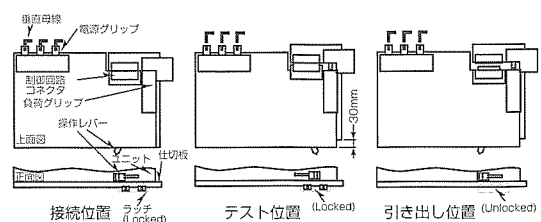


図1. ユニットポジション

納化に伴う温度上昇の抑制に対しては、熱流体解析に基づき、規格で許容される大きさの通風孔の配置を工夫することにより空気の流れを作り対応した。

また、コンパクトな1/4ユニットにおいてもモータ負荷の計測・保護・制御等を行うEMC-Fの搭載が可能である。EMC-FのDC4~20mA出力を使用することで電流計測回路の消費エネルギーを削減でき、また、伝送システムにより配線工事費を大幅に削減できる。

(2) 環境調和への対応

製品に使用するプラスチック成形品に材料名を表示することでリサイクル性を向上し、また、主回路ケーブルには燃焼時にハロゲン化水素ガスを発生しないエコ電線を採用することで環境に配慮した製品としている。

4. EMC-Fの特長と機能

EMC-Fは、F形MCCに適用される海外向けのマルチコントローラである(図4、図5)。

図6にEMC-Fの回路ブロック図を、表3にその機能一覧を示す。図6において、EMC-Fの本体部は主に入出力、計測、保護及び自己診断機能を持ち、表示部はマンマシンインタフェース機能(キー入力用、Personal Digital Assistant(以下“PDA”という。)用)、表示機能を持っている。また、伝送部は本体に内蔵されているが、ユニット化されており取り外し可能である。これにより、現行のModbus伝送以外の標準バスに、伝送部交換のみで対応できるようにしている。

4.1 EMC-Fの特長

(1) 高信頼性と小型化

国内で最も普及し十分な実績のある現行品(EMC-A)の回路及びソフトウェアをベースとした。また、EMC-Aの回路を一層集積化することで、信頼性を確保しつつ小型

化を実現した。監視/操作に必要な表示部(図5)のみを盤面に配し、本体部(図4)はMCCユニット内部に収納することで高収納性を実現した。これにより、マルチ機能のコントローラとして業界で初めて、1/4ユニットに収納可能とした。

(2) PDAインタフェース

盤面上の表示部からPDAを介して設定値・シーケンスプログラムの読み出し/書き込みを可能とし、プラント立ち上げ時及びメンテナンス時のデータ管理、シーケンス管理をより容易とした。

図7において、PDAによりEMC-F設定値の読み出し/書き込みが行える(表示部からの直接操作、Modbus伝送からの遠方操作も可能である)。さらに、シーケンスプログラムの読み出しが行えるほか、PDAのメモリに対し、データベース(ユーザーにあらかじめ提供)にある標準ラダーの中から一つを選択して書き込めば、PDAを介してEMC-Fのシーケンスプログラムの書き換えが行える。

4.2 EMC-Fの機能

表3にEMC-Fの機能を示す。

4.2.1 点検/テスト機能

各種テスト機能によりEMC-Fの点検を現場で容易に実施でき、点検作業時間削減が可能である。

(1) 保護特性自動点検

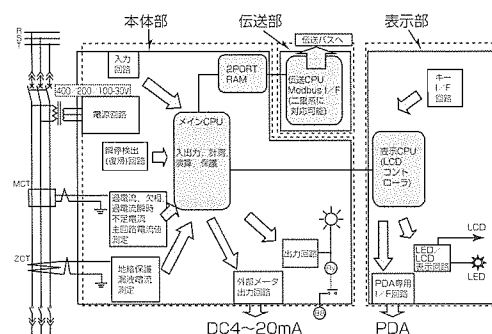


図6. EMC-Fブロック図

表3. EMC-F機能一覧

機能	内容
計測	主回路電流値(相個別)、漏洩(ろうえい)電流値
保護	OC(5本)、OCL、UC、GF、PF(アンバランス)、INT(外部故障要因)
制御	直接/遠方、正転/逆転/停止
履歴	運転時間、正転/逆転回数、トリップ回数、トリップ要因(トリップ値)：過去5回まで
点検/テスト	保護特性自動点検、保護機能動作テスト
自己診断	GPU系統、計測/保護系統、伝送系統、表示系統の自己診断
シーケンス	シーケンスラダーのRead/Write (PDAにより現場でのメンテナンスが容易)
瞬停再始動	瞬停再始動(瞬停不感時間設定あり)
外部電流出力	DC 4~20mA【オプション】
入出力	入力6点(うち、長距離対応可能：3点【オプション】) 出力4点
伝送	Modbus伝送I/F：Single/Double【オプション】

(太字部分は、この製品が特長とする機能を示す。)

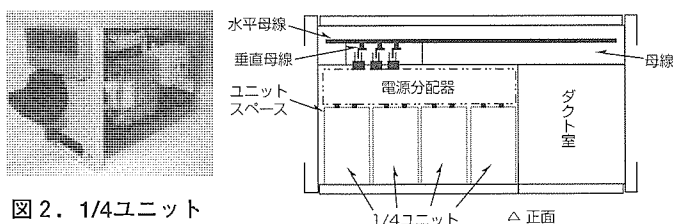


図3. F形MCC水平断面図

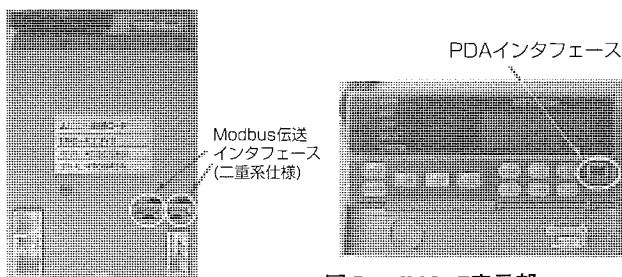


図4. EMC-F本体部

図5. EMC-F表示部 (操作カバーを開いた状態)

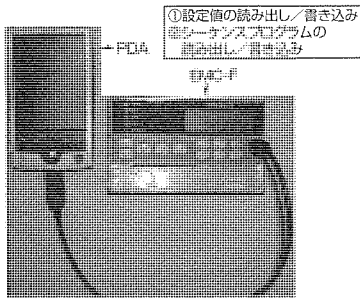


図7. PDAの機能

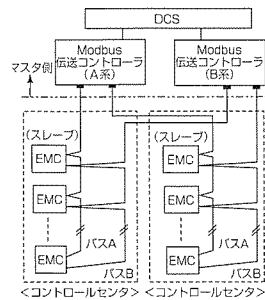


図8. 二重系システム

表4. 自己診断項目

部分	異常系統	自己診断項目	内容	異常時の処理	外部出力
本体	CPU系	①内部ROM/RAMエラー	内部ROMのサムチェック又は内部RAMのライト/リード照合に異常。	異常検出後、①ではすべての機能を、②では伝送以外のすべての機能を強制的に停止させ、誤動作を防止する。	あり
		②EEPROMエラー	設定値・履歴内容を記憶させるEEPROMへのリード/ライト時の照合に異常。		
		③メインCPUエラー	メインCPU自体に異常。	異常検出後、すべての機能を強制的に停止させ、誤動作を防止する。モータは現状維持となる。	
		④シーケンスプログラムエラー	シーケンスプログラムに異常。	異常検出後、伝送/表示以外の機能を停止させ、誤動作を防止する。	
計測/保護系		⑤計測回路用電源エラー	計測回路用基準電圧に異常。	異常検出後、⑤ではすべての計測出力、⑥では主回路電流計測出力、⑦では漏洩電流計測出力をロックする。計測回路の異常による誤トリップ防止のため、計測/保護機能を停止させる。	
		⑥電流計測回路エラー	主回路電流計測回路に異常。		
		⑦漏洩電流計測回路エラー	漏洩電流計測回路に異常。		
伝送	伝送系	⑧マスタ局応答なしエラー	マスタ局から一定時間、応答がない。	異常検出後、伝送機能を一時的に停止する(マスタからの応答を再度検出後、自動復帰する)。	
		⑨伝送I/Fエラー	伝送CPUとのI/Fに異常。	異常検出後、伝送出力をロックし伝送CPUをリセットする。	
		⑩伝送CPUエラー	伝送CPU自体に異常。	マスタ側で伝送異常として検知可能。	
表示	表示系	⑪表示I/Fエラー	表示ユニットとのシリアルI/Fに異常。	異常検出後、誤表示を防止するため、表示機能を停止する。	
		⑫表示ユニットCPUエラー	表示ユニットのCPUに異常。		

内部の基準電圧発生器により模擬電圧を発生し、保護特性が正常に動作していることを点検できる。

(2) 保護機能動作テスト

過電流保護、漏電保護の強制動作テストが可能である。

4.2.2 自己診断機能

EMC-Fの内部回路異常を自動検出する自己診断機能により、システムの高信頼性を確保できるようにしている(表4)。異常検出時の外部異常信号出力、モータ運転継続/停止に関しては、シーケンスプログラムユーザーが指定する。

4.2.3 Modbus伝送機能

F形MCCが市場としている中国、中東、東南アジアでは、MCC用の伝送バスとしてModbusが一般的である。また、Modbusは、デファクトスタンダードバスとして、長期間にわたる全世界的な使用実績がある。

(1) 適用システム

RS-485を物理層に持つModbus伝送インタフェース(RTUモード)を持つシステムであれば、4線式/2線式を問わず接続が可能である。

表5. Modbus通信パラメータ

通信パラメータ	EMC-F
伝送モード	RTU(Remote Terminal Unit)モード固定
伝送速度(※)	2.4k/4.8k/9.6k/19.2kbps
パリティ(※)	Non/Odd/Even
ビット長	8ビット固定
ストップビット長(※)	1/2
ノードアドレス	1~247
接続可能台数	32台
最大伝送距離	1.200m
物理層	RS-485
終端抵抗	120Ω(内蔵スイッチによりON/OFF設定可能。)バスの終端に位置するEMC-Fについては、伝送信号の反射を防止するためON設定とする。

(2) Modbus伝送仕様と特長

表5に、EMC-FのModbus通信パラメータを示す。また、システムの持つ特長は以下ようになる。

(a) 伝送ケーブル

MCCのシステムにおいては、シールド付き3線ツイストケーブル(DA(EMI+)/DB(EMI-)/DG(SG))(特性インピーダンス:120Ω,各電線サイズ:AWG20)を使用している。

(b) 通信パラメータ

通信パラメータの多くは可変となっており(表5の※を付した項目)、上位コントローラの仕様に合わせてフレキシブルに設定可能である(太字部分はデフォルト値を表す)。

(c) トポロジー

一筆書き配線(T分岐・マルチドロップは不可)となっている。

(d) 伝送形態

Modbus伝送には、用途に応じてファンクションコードと呼ばれる各種コマンドが用意されている。これにより、優先度の高い情報のみを一括した通信が行えるため、プログラムが簡略化できる。また、EMC-Fからは状態変化・設定変化時の通報を一切行わず、上位側からの要求時にのみ交信を行う簡素な伝送形態をとっているため、データの輻輳(ふくそう)が極力抑えられている。

(e) 二重化システムへの対応

Modbus伝送は、二重系での構成が可能である(図8)。この場合、各EMC-Fは、伝送インタフェースを2系統(A系、B系)持ち、通常の主系、待機系のシステムとして使用可能である。

5. むすび

以上、F形MCC、及びEMC-Fについて述べた。今後、海外市場の新たな客先要求を調査し、製品開発に反映することで、より顧客満足度の高い製品を提供できるよう努めていく所存である。

3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D固定形)

3.6/7.2kV Vacuum Circuit Breaker(VF-8/13D Fixed Type)

Norio Kan, Takakazu Harada, Hiroshi Tottori

要 旨

近年、地球温暖化が深刻化する中、地球環境へ配慮した製品が国内外を問わず求められている。こうした時代背景の中、真空遮断器で業界をリードしている三菱電機は、いち早く欧州RoHS指令禁止6物質を全廃した3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D形)手動ばね操作・固定形(固定形は以下、パネル取付け形という。)を開発し市場投入した。環境・省エネルギーへの配慮だけでなく、さらには、従来からのコンセプトである安全性・信頼性、使いやすさをより追求した。

(1) 環境負荷低減の追及

- 欧州RoHS指令禁止6物質の全廃：六価クロムの使用を廃止した。
- 真空バルブの小型化：電気的特性を更に改良した銅-モリブデン系接点を開発した。接点材料は組成

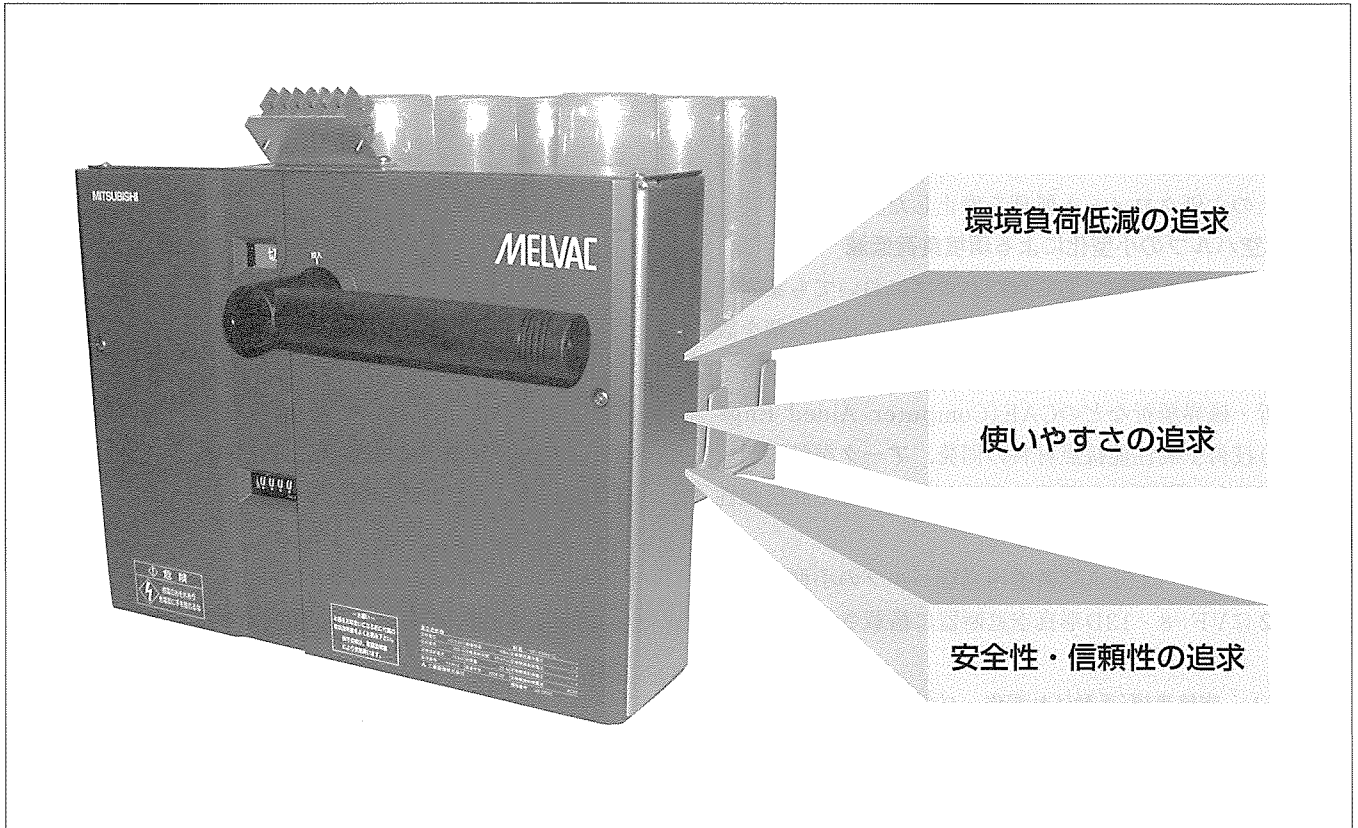
と製造条件の最適化により極限まで削減し、環境負荷を低減した。

(2) 使いやすさの追求

- 盤設計を容易にするオールセンタデザイン：盤設計の標準化を可能にし設計効率を向上させた。
- 旧機種との互換性を考慮した。

(3) 安全性・信頼性の追求

- 耐トラッキング性能の向上：絶縁モールドは、粉塵(ふんじん)、水滴が溜(た)まりにくい垂直面を多くし耐トラッキング性能を一層向上させた。
- 操作機構の信頼性向上：引き外しラッチの引き外し荷重を小さくし、かつ、軸受部には無潤滑軸受の採用で安定した動作特性を実現し信頼性を向上させた。これにより、初期点検3年を6年に延長可能とした。



VF-8/13D(盤設計効率を重視したオールセンタデザイン)

フェースプレートセンタと主回路センタの一致に加え、操作機構フレームと手動操作ハンドルの回転中心をすべて一致させた。さらに、盤との取り合い部を当社既存真空遮断器(VF-8/13C形)との互換性を考慮した。すなわち、引き出し形では遮断器本体、固定枠、制御回路の取り合いに互換性を持たせ、パネル取付け形では、VF-8/13C形用パネルカットにも取付け可能とした。

1. ま え が き

近年、欧州を初めとして世界規模で環境保全、環境負荷低減に対する取り組みが進められている。日本国内においてもISO14000や省エネルギー法、グリーン購入法が施行されるなど法的規制が整備されはじめ、社会的な要請も強まってきている。このような背景の中、受配電システム構成機器においても環境への取り組みが急務になってきている。今回開発した3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D形)(以下“VF-8/13D形真空遮断器”)手動ばね操作・パネル取付け形は従来からの特長である“使いやすさの追求”“安全性・信頼性の追及”に加え、“環境負荷低減の追求”をコンセプトとした。

2. VF-8/13D形真空遮断器の定格事項

表1にVF-8/13D形真空遮断器の定格事項を示す。

3. 環境負荷低減の追求

3.1 欧州RoHS指令禁止6物質の全廃

今回開発したVF-8/13D形真空遮断器では、欧州RoHS指令禁止6物質のうち、従来機で使用していた六価クロムの使用を廃止し、欧州RoHS指令禁止物質の使用を全廃した。さらに、ダイオキシンの発生原因となるハロゲン系元素も廃止した。

従来、六価クロムは亜鉛めっきの防錆(ぼうせい)処理剤として広く使用されていたが、近年、欧州を中心に環境への影響が指摘され、使用禁止物質に指定された。VF-8/13D形真空遮断器では、ボルト、ピン、ねじ類の亜鉛めっき表面上の六価クロメート処理を廃止した。

3.2 真空バルブの小型化による環境負荷低減

真空遮断器の心臓部である真空バルブにおいても業界をリードしている当社は、多年にわたる豊富な使用実績を設計・製造・品質管理に生かしている。さらに、応力解析・電界解析・磁界解析などのCAE(Computer Aided Engineering)技術や高性能接点材料の開発、アーク挙動観測などの遮断現象の基礎的な研究の成果から、小型で高信頼性のある真空バルブを開発してきた。

図1に7.2kV-12.5kA遮断器用真空バルブの小型化の変遷、図2にVF-8/13D形真空遮断器に搭載される真空バ

ルブを示す。12.5kA用真空バルブは、容積比で初代の真空バルブの6%、当社既存真空遮断器(VF-13C形)用真空バルブの75%にまで小型化した(図1)。以下に小型化技術の一例について述べる。

(1) 接点材料の高性能化

今回、新たに銅-モリブデン系の接点を開発した。この銅-モリブデン系接点は、従来の銅-クロム系接点に比べ、遮断性能・耐電圧性能・耐消耗性が優れている。この新接点を12.5kA汎用真空バルブに適用することにより、従来の銅-クロム系接点と比較して接点面積を約70%減とし、小型で高い信頼性を実現した。

低サージ用真空バルブでは、過電圧の発生を抑制するため、銀系接点を用い縦磁界電極構造を採用している。今回開発した低サージ用真空バルブでは、縦磁界電極の磁界解析やアーク観測を実施することで、発生する磁界を旧機種よりも均一かつ高磁界化した。図3にこの縦磁界電極の磁界解析結果と図4にアークの挙動を観測した結果を示す。図3、図4から、アークが均一に拡散する縦磁界電極としたことにより、従来品より接点面積を約30%縮小した。

(2) 接点材料のミニマム化

接点材料は製造条件及び機械加工条件を最適化することで、接点材料の無駄を徹底的に排除した。また、環境負荷低減の観点から接点の小径化に着目し、接点組成の最適化を行った。その結果、接点材料を極限まで削減することができ、環境負荷を低減した真空バルブを開発することに成

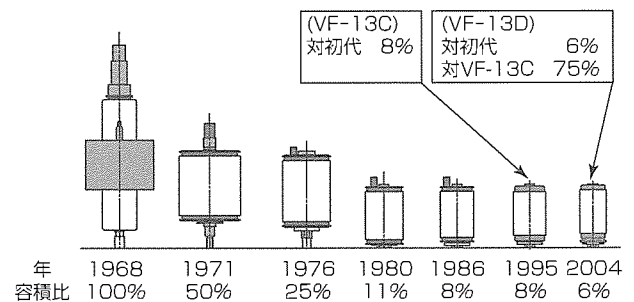
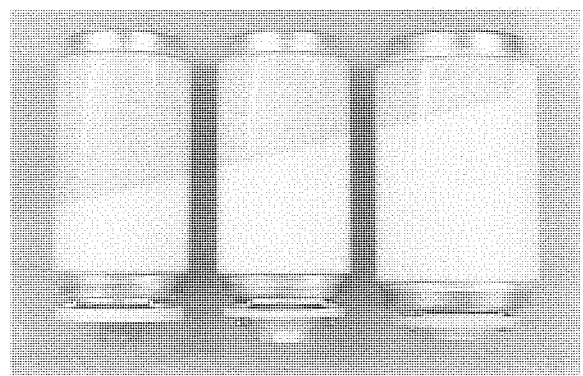


図1. 7.2kV-12.5kA汎用遮断器用真空バルブ小型化の変遷



左: 8kA用 中: 12.5kA用 右: 12.5kA低サージ用

図2. VF-8/13D形真空遮断器用真空バルブ

表1. 定格事項(手動ばね操作・パネル取付け形)

項目	VF-8D/(DG)	VF-13D/(DG)
準拠規格	JIS C4603	
定格電圧	3.6/7.2kV	
定格電流	400A	600A
定格周波数	50/60Hz	
定格遮断電流	8 kA	12.5kA
定格耐電圧	雷インパルス: 60kV, 商用周波: 22kV	

(DGは低サージ)

功した。従来の接点に比べ材料を約30~70%削減した。

3.3 その他の環境負荷低減

塩化ビニル電線は焼却時にダイオキシンが発生しやすいハロゲン系元素と微量の鉛を含んでいるが、これらを含まないエコ電線を採用した。エコ電線は、リサイクルしやすい材料であることから、環境負荷を低減することができる。

また、主要樹脂部品には材料表示をすることによりリサイクルを容易とし、環境負荷低減に貢献する機器とした。

さらに、ばね蓄製モータの消費電力を現状の1/4相当に低減する予定で、これにより制御電源の小容量化を図ることができる。

4. 使いやすさの追求

4.1 オールセンタデザインの採用

VF-8/13D形真空遮断器では、フェースプレートセンタと主回路センタの一致に加え、操作機構フレームと手動操作ハンドルの回転中心をすべて一致させた。これらすべてのセンタとパネルカットセンタ、盤センタを合わせる事が可能で、各取付方式に対してパネルカットセンタを変える必要がなく、パネルの標準化を図ることができる。また、すべてのセンタを統一することにより設計効率化を図ることが可能である。

4.2 互換性重視の設計

パネル取付け形については、当社既存真空遮断器(VF-8/13C形)のパネルカットに取付け可能な構造としたこと

により、容易に従来品(VF-8/13C形)との取替えにも対応できる。

引き出し形でも、盤設計の標準化と遮断器更新時の効率化を考慮して、現行当社品(VF-8/13C形)と真空遮断器本体、固定枠、制御回路との取り合いに互換性のある構造とした。

5. 安全性・信頼性の追求

5.1 耐トラッキング性能の向上

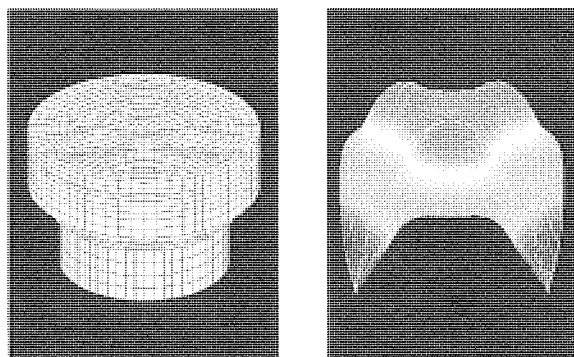
今回開発したVF-8/13D形真空遮断器用絶縁モールドを図5に示す。絶縁モールドは、より一層耐トラッキング性能(注記参照)を向上させるため、形状を従来よりも角型にした。真空バルブを水平に配置した場合、又は垂直にした場合のどの配置に対しても、粉塵、水滴がたまりにくい垂直面を多く設けた。さらに、絶縁物の充填(じゅうてん)材は耐トラッキング性能に優れた材料を使用している。

5.2 操作機構の信頼性向上

図6に投入ばねのリセット状態を、図7に投入ばねの蓄勢完了状態を示す。駆動する際に、リンクの軸受部には摩擦力でエネルギーロスが生じる。このエネルギーロスはグリースの経年的な固化による粘度変化によって増加する。この経年的に変化するエネルギーロスに対して十分な裕度を持たせ、安定した動作特性を出すことにより、操作機構の信頼性をより向上させた。

(注) トラッキング現象：

絶縁物を介して電極間に電圧が印加された場合、電極間のインピーダンスによって決まる漏れ電流が流れる。この漏れ電流には、電極間の静電容量により流れる電流成分と抵抗(主として沿面抵抗)で流れる電流成分がある。後者の電流成分を決める抵抗値は絶縁物の表面状態により変化し、この電流によるジュール熱で通電経路の水分が蒸発して部分的に絶縁抵抗が回復し、この部分で放電が発生する。この放電の熱により絶縁物表面が炭化する。この放電が繰り返されることによって炭化導電路が樹状に進展する現象がトラッキング現象で、防止策は粉塵と水分の付着を防止することが最も有効である。



(a) 縦磁界電極モデル (b) 電極部磁界分布

図3. 縦磁界電極磁界解析結果

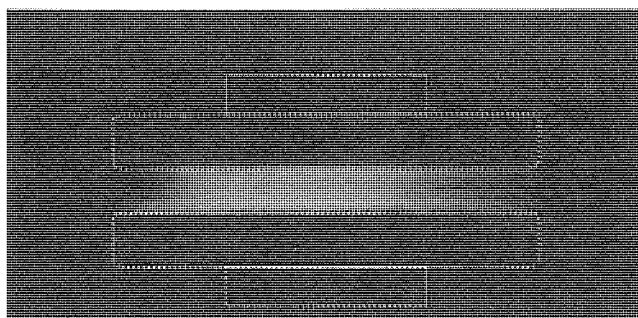


図4. 縦磁界電極アーク観測例

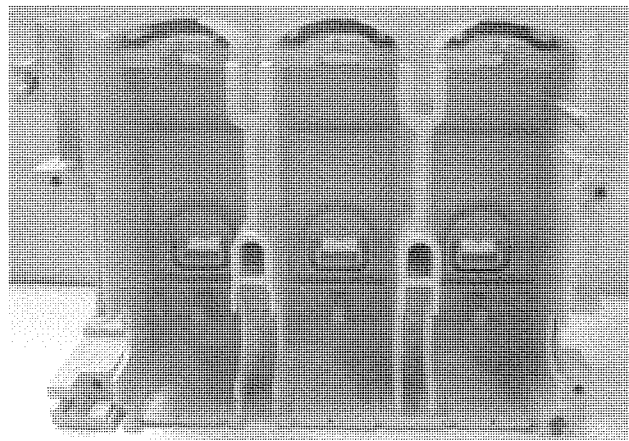


図5. VF-8/13D形真空遮断器用絶縁モールド

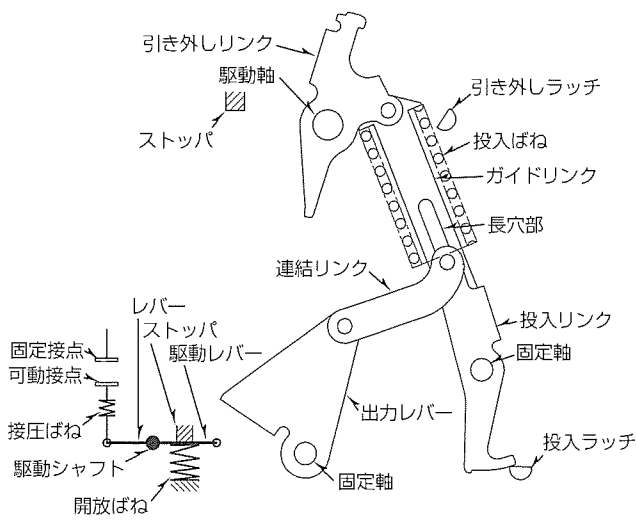


図6. 投入ばねリセット状態

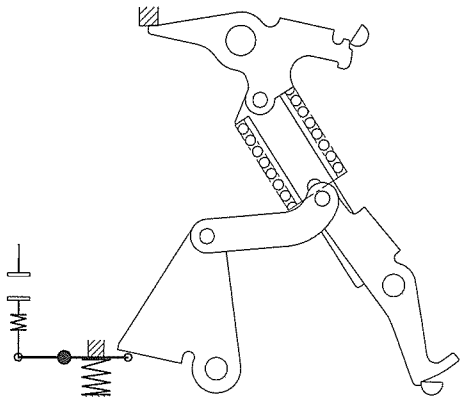


図7. 投入ばね蓄勢完了

5.2.1 荷重分担方式による信頼性の向上

エネルギーロスに対して裕度を持たすには、リンクの減衰比を小さくし、軸受部の摩擦力に対して回転力を十分大きくすることが有効である。しかしこの場合、リンクの減衰比によって引き外しラッチに加わる荷重も増加するため、引き外しコイルの引き外し力を大きくしなければならず、引き外しコイル操作電流も大きくなる。VF-8/13D形真空遮断器では、この問題を解決するため、操作機構を出力

レバー、連結リンク、投入リンクからなる4節リンクと、引き外しリンク、ガイドリンク、投入リンクからなる4節リンクの二つのリンクで構成した。これにより、減衰比を各リンクで分担し合う構造とし、引き外し力を小さくすることで、引き外し動作特性を安定させ、信頼性を更に向上させた。

5.2.2 無潤滑軸受の採用による信頼性の向上

グリースの経年的な固化による粘度の増加は、引き外しラッチ等の微小力で駆動する部位に対して特に影響が大きい。この問題に対して、VF-8/13D形真空遮断器では、二つの4節リンクによる荷重分担方式でラッチ軸の面圧を下げ、微小力で駆動する部位の軸受をテフロン樹脂(PTFE)ベースでグリースの塗布が不要な無潤滑軸受とした。これにより、安定した動作特性を実現し、初期点検周期を従来の3年から6年に延長可能とした。

6. むすび

業界に先駆けて欧州RoHS指令禁止6物質を全廃し、地球環境へ配慮した遮断器を開発した。また、この遮断器では、操作機構の二つの4節リンクにより軸受に掛かる荷重を低減し無潤滑軸受を採用した。これにより、信頼性を向上させ安定した動作特性を実現することができ、初期点検周期を従来の3年から6年に延長可能とした。

真空バルブは、新規に接点を開発し、耐電圧性能・遮断性能・耐消耗性を向上させた。

今回開発したVF-8/13D形真空遮断器は高い安全性・信頼性を持ち、さらに、環境にも配慮した設計とした。この製品が広く社会に貢献できれば幸いである。

参考文献

- (1) 真空遮断器・開閉器の環境適合性および保全診断技術、電気学会技術報告第941号 (2003-10)
- (2) 技術相談委員会：高圧真空遮断器の絶縁劣化について、電気技術者, No.6, 35~37 (1996-6)

MT法による絶縁物の余寿命診断と受配電設備の予防保全

岡澤 周* 橋爪愛一郎*
三木伸介** 池守 正*
長谷川武敏***

Deterioration Diagnosis of Insulating Material of Power Distribution Systems Using MT Method
Hiroshi Okazawa, Shinsuke Miki, Taketoshi Hasegawa, Aiichiro Hasizume, Tadashi Ikemori

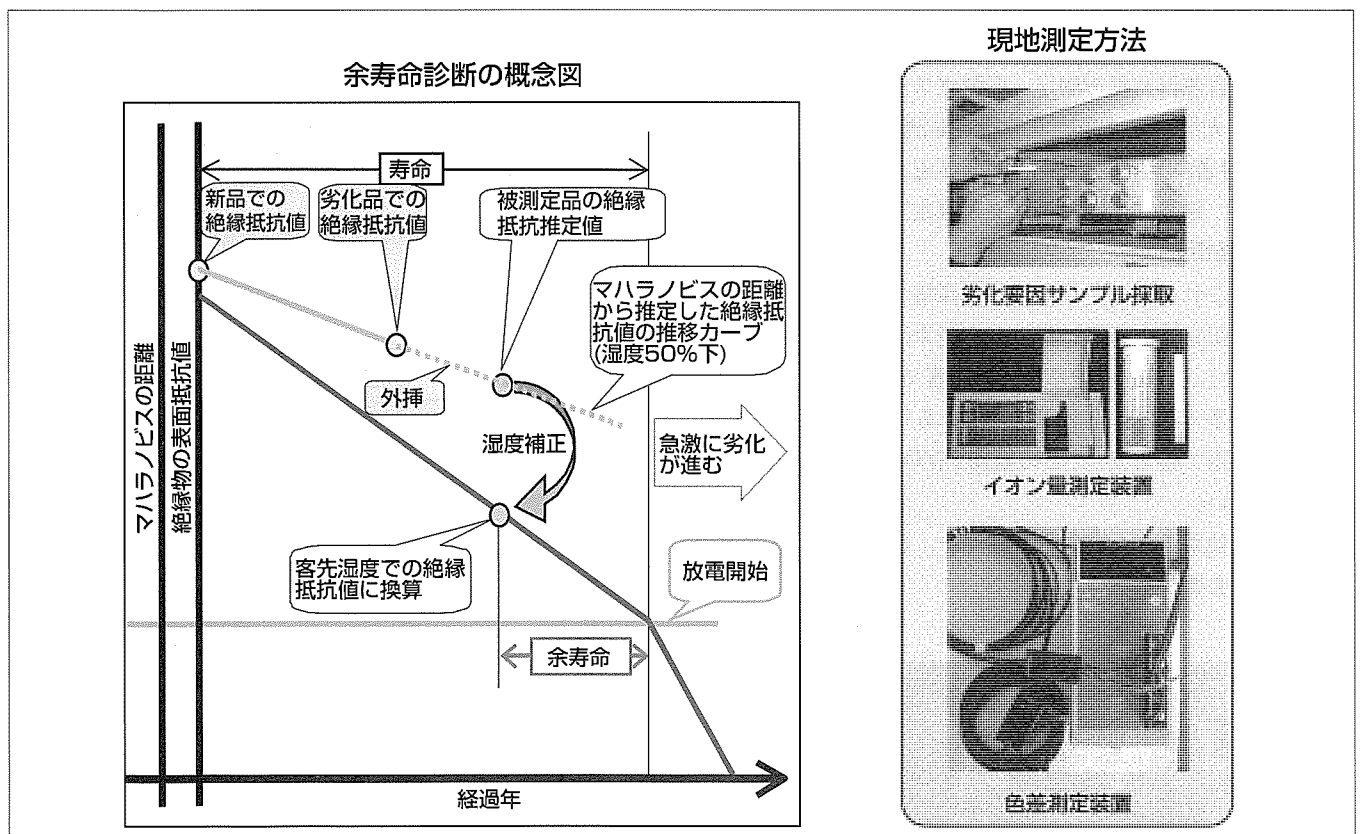
要 旨

受配電設備で故障が発生した場合、その影響が広く波及するおそれがある。それを未然に防ぎ電力安定供給を図るために様々な手段がとられているが、設備故障を事前に予知することは難しく、設備余寿命を定量的に評価できる技術が求められている。しかしながら、既存の技術は周囲環境の影響を直接的に受けてしまうことも多く、事前に明確な答えを出すのが難しい場合があった。

三菱電機では“絶縁物の余寿命診断技術”を開発し、2003年4月から受配電設備の余寿命診断を提案してきている。この診断推定技術は、化学的な測定・多変量解析手法(マハラノビス・タグチ(MT)法)によって絶縁物の抵抗劣化

に高度に有意な相関を持つ因子(イオン量/色彩など)を抽出し、その因子の量と絶縁物の寿命(顧客環境下で放電を開始する時期)を非破壊的かつ定量的に推定することができる。実際の診断に当たっては、イオン量や色彩の測定器をキット化し、余寿命診断のアルゴリズムをプログラム化していることから、現地で簡単に診断することができる。当社は、この“MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命診断推定技術”を既に70社90件以上に提案・実施し、効率的な設備保全・更新計画に役立つものとして、顧客から好評を得ており実際の更新工事に結び付いている。

特集
I



MT法による絶縁物の余寿命診断と受配電設備の予防保全

今回開発した余寿命診断方法の概念図を示す。また、現地で劣化要因を採取/測定/診断するキット化した測定器を示す。これらで測定したデータをパソコンに入力することで現地環境に対応した余寿命を定量的に推定することができる。

*受配電システム事業所 **先端技術総合研究所 ***同研究所(工博)

1. ま え が き

受配電設備で故障が発生した場合、その影響が広く波及するおそれがある。例えば、病院や銀行といったビルの停電や工場生産設備の停止により、受配電設備が復旧するまでの間にも損失を与え続けることがある(図1)。

このような停電による故障を未然に防ぎ電力の安定供給を図るために様々な手段がとられており、最近では、定期的な保全・更新計画としてのTBM(Time-Based-Maintenance)から状態監視保全(Condition-Based-Maintenance:CBM)へ考え方が変化してきている。

しかし、設備が老朽化して故障が発生するまでに10年単位の時間がかかり、故障は突然に発生するために、事前に設備余寿命を知りCBMに持ち込むには、既存の技術では難しい。

本稿では、設備の信頼性を大きく左右する絶縁物の状態を非破壊的に現地で測定でき、精度良く劣化診断から余寿命推定まで行う技術“MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術”を活用した予測保全(Forecasting Maintenance:FM)について述べる。

2. 既存の絶縁物診断技術と限界

2.1 既存の測定技術

絶縁物の劣化を見る測定方法には、絶縁抵抗測定、部分放電測定、直流漏れ電流測定、分解ガス測定、重合度測定、色差測定、光沢測定、等価塩分付着量測定、塵埃(じんあい)測定、付着イオン量測定、 $\tan \delta$ 測定、耐電圧測定、静電容量測定、電界ベクトル測定等の測定方法がある。

2.2 既存技術の限界

しかし、これらの測定技術は外部環境(湿度等)の影響を強く受け、測定時の天候に得られる結果が左右されるものが多い(図2)。また、“既に劣化が顕著であること”を診断するものも多く、“どの程度の劣化であり、あと何年安全に設備を使用できるか?”との質問(余寿命推定)に答えることは難しい。

さらに、使用方法(電圧や周波数)や、絶縁物の形状なども考慮する必要がある。

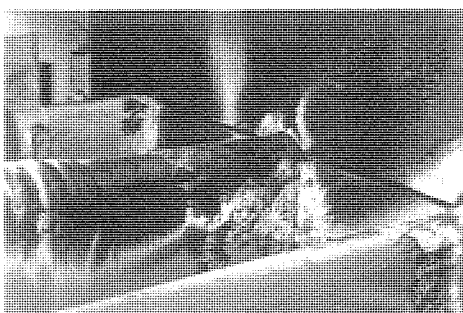


図1. 受配電設備での故障例

3. MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術

当社では、1999年12月から“スイッチギヤの余寿命診断技術の開発”を進め、その成果として2003年4月から“マハラノビス・タグチ(MT)法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術”を確立し受配電設備の余寿命診断・更新提案を実施してきている。

この診断推定技術は次の要素から成り立っている(図3)。

- (1) MT法による絶縁物の劣化要因の抽出とその要因による劣化程度(絶縁抵抗値の低下)の推定
- (2) 絶縁物の絶縁抵抗値と湿度の関係がガウス分布によくフィットする事実を用いた顧客環境下での絶縁抵抗値の推定
- (3) 絶縁物の種類/形状を考慮したシンチレーション放電発生電圧の推定
- (4) 現地で簡単に劣化要因量を測定できる技術

3.1 M T 法

MT法とは、マハラノビスの距離を利用し品質工学技術

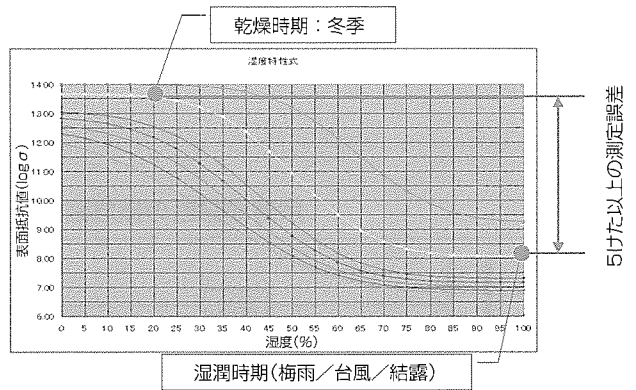


図2. 絶縁物表面抵抗値の湿度依存性

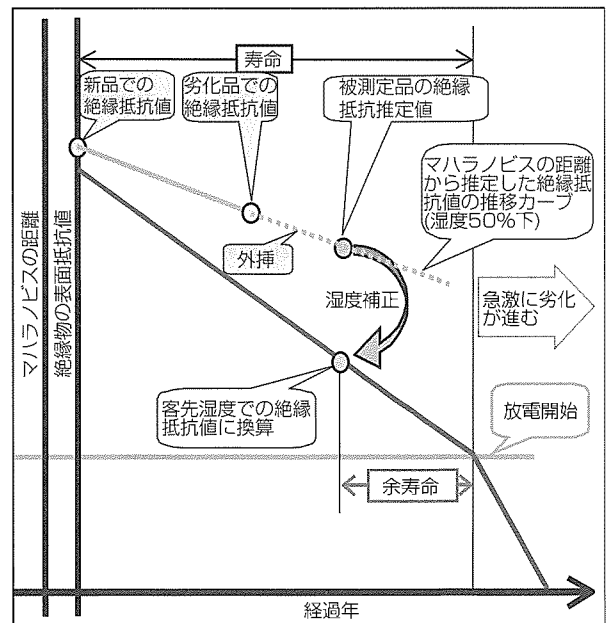


図3. 余寿命推定の考え方

と組み合わせた多変量解析手法である。

(1) マハラノビスの距離

マハラノビスの距離とは、母集団分布の重心からの距離を算出する際、ユークリッドの距離に母集団分布の偏りを考慮するようにしたものである。図4のように母集団分布(黒点の集まり)がある傾向を持っている場合でも、左図中の、①②③④の各点(被測定物の測定結果)は、ユークリッドの距離ではすべて重心から等距離であると評価されるが、マハラノビスの距離を用いて表わすと、①の点が母集団から大きく外れている(すなわち性質が大きく異なる)ことが分かる。マハラノビス・タグチ(MT)法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術では、絶縁物の劣化に有意な多変量の因子の量を一つのマハラノビスの距離で表わすことにより判別精度の良い推定法としている。

(2) 品質工学の応用

図5はポリエステル樹脂の劣化診断に有意な因子を抽出した結果である。

あらかじめ劣化に影響のあると推定された15項目の因子を2水準のL16直交表に割り付け絶縁抵抗値との相関を調査した。このデータから各因子に対して要因効果を求める。要因効果図で左上がりの項目ほど劣化に有意な因子(診断に有効な因子)である。ポリエステル樹脂絶縁物材料の劣化診断に特に有効な評価項目は、色彩(黄色変化)、NO₃イオン、SO₄イオンであった。

様々な環境下/稼働年数のものについてこの評価を実施

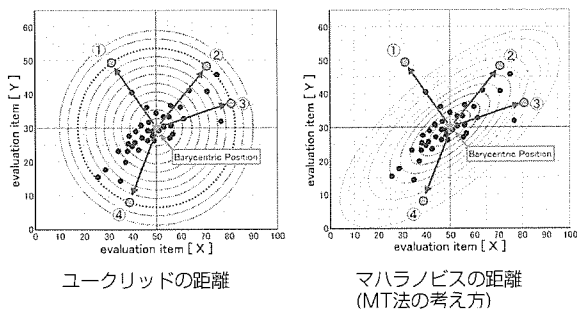


図4. マハラノビスの距離の概念

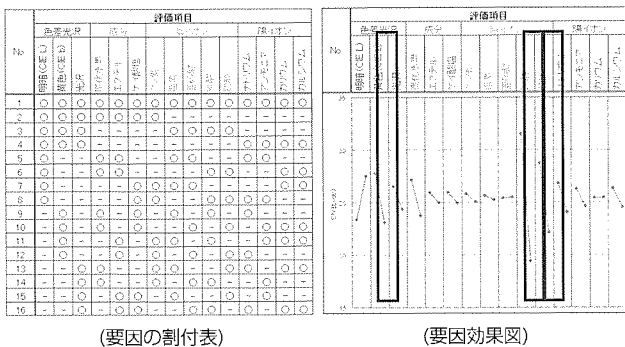


図5. 劣化要因の抽出

した結果、マハラノビスの距離と絶縁抵抗値の間に非常に良い相関関係が確認された(相関係数0.96)(図6)。

このことから、ポリエステル製の被測定物について、色彩(黄色変化)、NO₃イオン、SO₄イオンを測定しマハラノビスの距離を算出することで絶縁抵抗値が精度良く推定できることが分かる(この回帰線をマスターカーブと呼ぶ)。

3.2 設置環境の反映

以上述べたMT法による絶縁物の絶縁抵抗は、相対湿度50%での推定値となっている。したがって、余寿命を推定するには、実使用環境での推定値を算出する必要がある。

そこで、絶縁抵抗値と湿度の関係がガウス分布曲線によく近似できるという事実から、絶縁物に応じたガウス曲線にフィッティングすることで、任意の湿度環境下での絶縁抵抗値を推定できるようにした(図7)。

3.3 シンチレーション放電開始電圧の推定

さらに、パッシェンの火花開始電圧放電式にドライバンド放電ギャップモデルを適用したシンチレーション放電発生条件を盛り込み、絶縁物の材質・形状、そして使用条件の電圧・周波数等による放電開始電圧を明確にした。

これより、実機での放電開始電圧(閾(しきい)値)を決定することができる。この考えによる放電開始電圧をプロットすると、IEC規格と平行な位置関係にあり、かつ、汚損耐圧試験の実測値と良い相関を持つことから、この推定法が妥当なものであることが分かる(図8)。

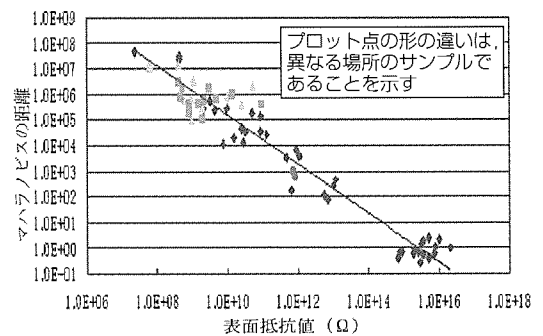


図6. 絶縁抵抗値とマハラノビスの距離の相関関係(マスターカーブ)

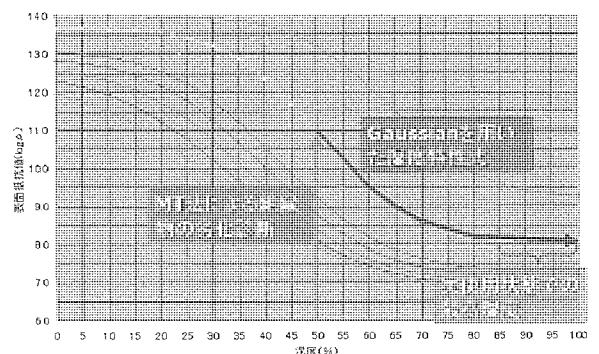


図7. Gaussian近似による実環境下の絶縁抵抗の推定

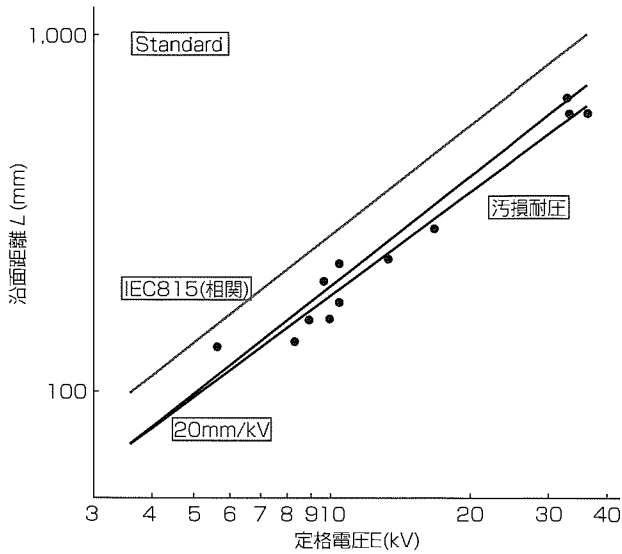


図8. 放電閾値と規格・実測の関係

4. 測定診断結果とその展開

図9に、客先現地で測定したデータによる実際の診断結果を示す。推定された表面抵抗値から算出される放電開始電圧(寿命判断値)と現地環境などから予測される余寿命が得られている。

更にこの余寿命推定結果を活用し保全・更新計画へ展開している。この例では、遮断器をオーバーホール又は更新することにより、2012年まで設備を安全に使用できることが分かり、効率的な保全・更新計画を立てることができた。

5. むすび

本稿で述べたMT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術は絶縁物の劣化に一般的に利用できる手法であり、



図9. 劣化診断余寿命推定結果 (配電盤2面の絶縁物をMT法診断した結果)

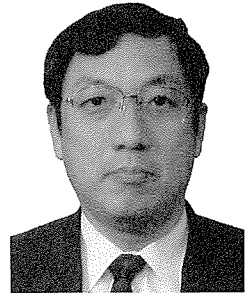
他社製品に対しても広く診断を実施することが可能である。今後、更に診断事例を増やし、推定の精度を更に向上させるとともに、他の材料での余寿命推定に展開していく所存である。

参考文献

- (1) 三木伸介, ほか: MTS法による絶縁劣化診断, 第10回品質工学研究発表大会論文集, 282~285 (2002)
- (2) 三木伸介, ほか: マハラノビス・タグチ(MT)法による絶縁劣化診断, 第33回日科技連信頼性・保全性シンポジウム報文集, 167~172 (2003)
- (3) 岡澤 周, ほか: スイッチギヤの劣化診断・余寿命推定技術, 第33回日科技連信頼性・保全性シンポジウム報文集, 173~178 (2003)

II “車両(電気鉄道)システム技術”特集に寄せて

Technology for Rolling Stock Systems

宗行満男
Mitsuo Muneyuki

20世紀における鉄道の歴史で日本が果たした役割は大きく、世界の鉄道技術を牽引(けんいん)してきた時代と言っても過言ではない。新幹線に代表される高速車両の実現、チョッパ装置に始まる主回路装置の無接点化等、世界に先駆けて実現化してきた技術も数多い。特にここ20~30年間においては、パワーエレクトロニクス及びマイクロエレクトロニクスの急速な発展により、VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ制御装置の実用化を始めとして、車両統合管理システム(TIMs)や映像情報装置であるトレインビジョンといった新しいシステムの実現やフェールセーフ性が必要とされる保安装置にまでマイクロコンピュータの適用が実現化するなど、車両システム技術も大きな進展を遂げてきた。この流れは今後もとどまることはなく、地上システムとの連携等更なる進化を遂げていくであろうことは想像に難くない。

鉄道は社会インフラの根幹であることには今も昔も何ら変わりはないが、近年、その要求レベルは非常に高くなってきている。社会への配慮から、安全はもとより、環境に優れ省エネルギーを実現できる移動手段としての鉄道が見直されると同時に、更に魅力的な鉄道への期待が高まってきたからである。単に“速く”“時間に正確”“大量に”だけではその使命を十分に果たすことはできなくなってきており、“環境・人に優しく”“より快適に”など一段上のシステムが要求されている。このような顧客の高次元の要求レベルと車両システム技術の進歩がシナジー効果となって今日の鉄道システムの急速な発展につながったものと考えられるのも一つの見方ではないだろうか。そのような状況の中、三菱電機では、交通事業におけるスローガンである“Better

Mobility”の下、顧客の基本的要求事項である“安全・安定輸送の確保”“環境への適合”“快適性・サービス水準の向上”“ライフサイクルコストの低減”の4点を車両システムコンセプトとして取り上げ、顧客に満足してもらえらる製品の提供を目指して更なる努力をしているところである。

インターネットにおけるブロードバンド環境の爆発的な普及に伴い、島国である日本の弊害が取り除かれ、世界が非常に身近な存在となってきた。鉄道技術においてもその恩恵を十分に浴しており、世界という視点で日本の鉄道技術の位置付けを明確に認識することができるものとなってきたのもその一例である。当社においても、その成果として、世界中の顧客に満足してもらえらる製品の開発、実用化を行い、現在、世界21か国の国々で当社製車両システムが活躍するに至っている。また、その製造に当たっては、海外に拠点を設け現地の人々との協調を図るなどグローバル化を推進している。

規格面においては現時点では欧州の規格が中心となっていることは否めないが、日本発の国際規格実現を目指し“列車情報管理装置”等その取り組みを始めており、真のグローバル化を目指している。

車両システムは社会インフラの根幹をなす重要なシステムであるとの認識を新たにし、今後とも顧客に満足してもらえらる製品の提供に向け、研究開発、信頼性検証、標準化を進めるとともに、次世代につながる新たなシステムの構築等あらゆる分野において更なる努力を重ねていく所存である。この特集で、これら当社の車両システム技術への取り組みの一端を紹介する。皆様のご指導、ご鞭撻(べんたつ)をいただければ幸いである。

鉄道車両用電機品での安全・安定輸送への取り組み



小尾秀夫*

Electric Equipment of Rolling Stock for Safety and Stability Transportation

Hideo Obi

要旨

鉄道車両用電機品は、様々な市場分野向けに開発される最新技術を高度な安全性・信頼性が要求される鉄道車両へ適用できるよう最適化応用開発が行われ供給されている。パワーエレクトロニクス高電圧応用技術のような分野ではリード役をも果たしている。

近年は、急激に進歩するIT (Information Technology) 技術の率先導入により、身近な情報供給媒体としての役割を果たしつつ、車両内外の情報化により車両機能の大幅向上がなされ、安全・安定輸送に貢献している。三菱電機の持つ技術を鉄道車両用電機品に結集し、ベターモビリティを合言葉に、多様なニーズに対応することが当社の使命と考えている。

推進機器は、インバータ技術の進歩によりシンプル最適化され、制御性の向上により高機能な製品“MELPAC”シ

リーズを市場投入した。

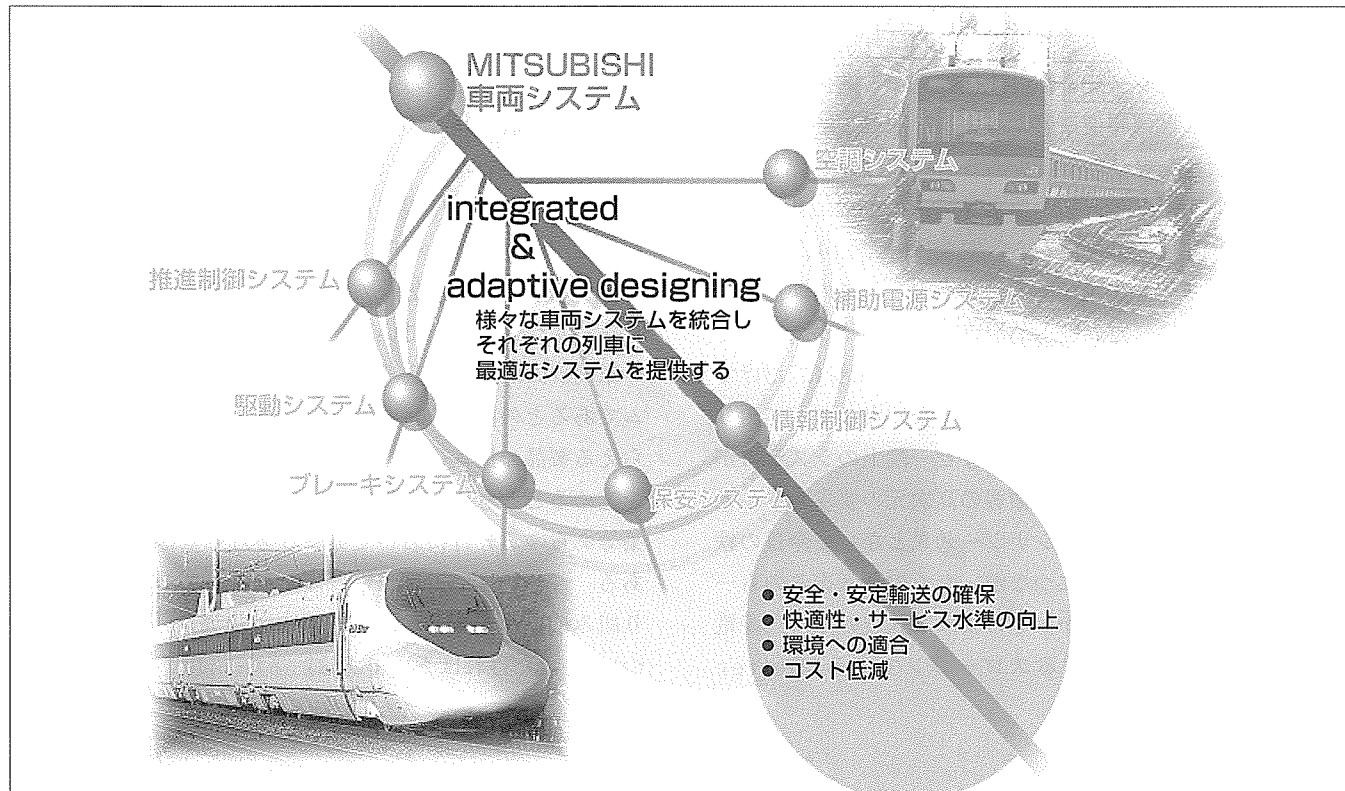
誘導電動機も、開放型から、省保守・低騒音化のため、低損失化、冷却性能向上により、全閉型の製品化を実現した。

車両情報システムは、当社製品の国内搭載累計が10,000両を超え、車両の情報化、乗客サービス向上、乗務員支援、保守軽減などに貢献し、安定輸送を支援している。

列車保安・ブレーキ機器は、デジタル化による高性能と情報機器との連携により信頼性が向上し、安全・安定輸送に貢献している。

車両用空調機器は、車両用機器の中でも特に乗客個々の要望が異なる最適化の難しい機器であるが、個別吹出口を持った個別制御可能な新製品をこの特集で紹介する。

特集 II



車両システムの統合と最適システムの提供

当社は、推進制御システムを始めとする様々な車両システムを情報制御システムが統合管理し、多様化する顧客の声にこたえ得る最適なシステムを提供できる。

1. ま え が き

鉄道車両用電機品は、産業用・民生用に開発される様々な技術を高度な安全性・信頼性が要求される移動体である鉄道車両へ適用できるよう最適化応用開発が行われ供給されている。

パワーエレクトロニクス高電圧応用技術のような分野では、最先端技術として、リード役をも果たしている。

近年は、急激に進歩するIT技術の率先導入にも力を入れ、目に見えるところでの身近な情報供給媒体としての役割を果たしつつ、車両内外の情報化により車両機能の大幅向上がなされ、安全・安定輸送に貢献している。当社の持つ様々な技術を車両電機品に結集し、ベターモビリティを合言葉に、様々なニーズに対応することが当社の使命と考えている。国内においては、当社だけが、車両搭載機器のすべてに当たるインバータ・モータなどの推進駆動機器、車両制御情報システム機器、保安機器、補助電源装置、ブレーキシステム、空調機器などを提供している。この鉄道車両用電機品の特集に当たり、全体像について述べる。

2. 安全・安定輸送への取り組み

鉄道運営の基本原則は、安全で遅れのない安定した輸送を行うことである。走って止まることを安全に安定して提供するため、当社電機品を、様々な製造プロセスに当社の持つ幅広い半導体・通信・移動体・情報などの分野でのもの作りにおける製造・品質・検証の総合技術を投入して、鉄道車両に提供している。

鉄道の使用環境は、その走行路線に依存し、地上設置の機器と比べ条件が厳しく、温度・振動・負荷サイクル・塵埃(じんあい)・風雨・塩害など様々な条件にさらされる。これらの条件下で15年から30年の長きにわたる使用において安全・安定に稼働しなければならない。これらの路線での使用環境適合性を機器開発・設計・製造・試験の各段階で一つ一つの機器について品質保証するための各種検証設備を導入し拡充している。

2.1 設計検証設備

エンジニアリングツールとしての三次元CAD(Computer Aided Design)を導入し、構造設計段階からの長期信頼性を保証する機械強度検証、製造組立方法の事前検証・製造システム、また車両メーカーへのデータ供給、そして、メンテナンス時の取扱いの事前検証と顧客打合せの確認の深度化など多方面に活用している。図1にVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)装置に対する三次元CADの表示例を示す。

また、制御系の設計検証に力を入れており、駆動機器では制御系CADからのブロック図入力からソフトウェアを自動生成し、ソフトウェアの設計・製作・検証・管理を一

元化するシステムを構築し、そのデータをマイコン制御ハードウェアに入力して、主回路シミュレータと組み合わせることでインバータ・モータ・架線・車両・路線条件をリアルタイムで事前検証することが可能となった。

図2に、実際に海外ゴムタイヤ車両向けに制御機械系振動安定性を検証した例を示す。この事前検証により、挙動の複雑なゴムタイヤ車両の制御・機械系の制御定数の調整をスムーズに行うことができた。

ソフトウェア規模が大ききなものとなる情報系機器においては、当社の最新のオブジェクト指向技術を適用した車両情報システムの標準フレームワーク“PLATINA”を開発した。各種車両用に共通部分と個別仕様によるカスタマイズ部分を分離してシステム化したもので、ソフトウェアの信頼性向上と製作期間の短縮が期待できる。

2.2 開発検証設備

車両用電機品として要求される様々な仕様に対応するため、設計の妥当性を試験検証する設備の充実に注力している。

その一端について述べる。

(1) システム検証設備として、従来から機械的慣性負荷装

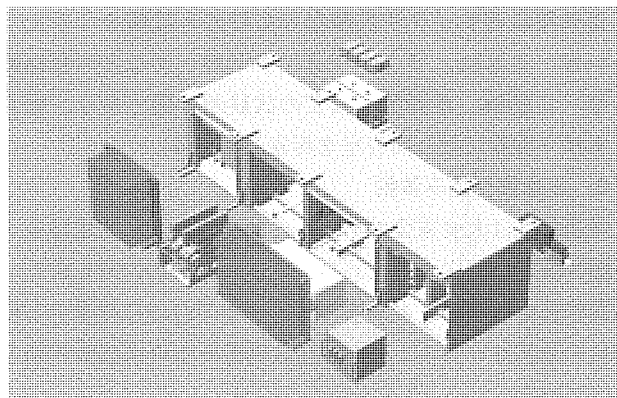


図1. VVVFの構造解析表示

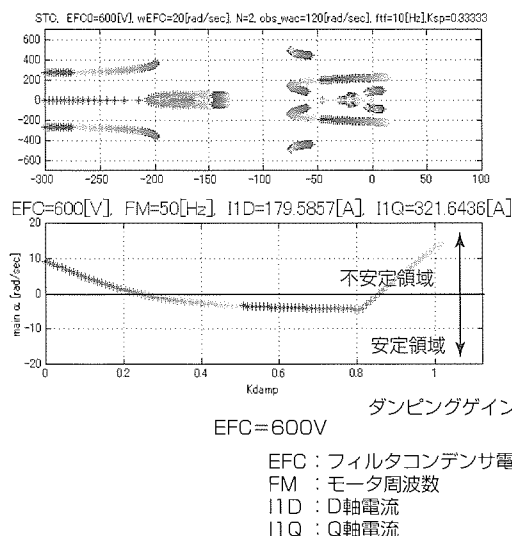


図2. 制御機械系振動安定性検証の出力図

置とインバータ／コンバータ／誘導電動機を組み合わせたダイナミック試験設備を持っているが、これを中核として、実際の車両環境を模擬試験できる設備を付設拡充した。

- (2) 環境試験設備として、 -40°C から $+60^{\circ}\text{C}$ を超える温度変化に加え、湿度・降雨・塵埃などの要素を付加してダイナミック検証が可能である。
- (3) 車両用機器の電磁環境要求は、無線情報機器のデジタル化、周波数の高周波化に伴い、年々厳しくなっており、EMC(Electro Magnetic Compatibility)国際規格IEC62236をも上回る要求仕様が提示されることも多くなっている。これらに対応した検証をするため、EMC/EMI(Electro Magnetic Interference)試験設備をダイナミック試験設備に付設し、実機負荷レベルの検証を実現した。
- (4) 慣性負荷仕様のダイナミック試験設備は大変有効であるが、大規模な機械系設備であるため、連続昼夜運転などに対する制約、機関車などの大容量機制約、工場電源設備周波数(当社工場は60Hz地区)の制約などを超える顧客要求に対応するため、循環負荷(Back to Back)法を採用した試験設備も導入し、電源周波数可変大容量長期負荷サイクル試験なども行える設備をそろえている。これは、インバータ・コンバータなどの制御機器、電動機、駆動装置などの試験が可能であり、騒音を伴う機器に対し防音室を用意している。

2.3 良品作り込み体制

開発検証は大変重要であるが、鉄道の安全・安定輸送への顧客要求に対応するため納入する一台一台に対し厳しい品質管理を行うことも重要であり、そのために作業者と検査員の品質作り込みと100%良品出荷のための試験体制をしいている。

また、調達品の品質確保が重要な要素となっており、調達先と連携した品質向上活動と調達品受入れ検証のため施設を整備した。この検証施設により、量産製品の安定した品質確保を目指している。

3. 車両システム

3.1 推進駆動機器

モビリティの基本機能である走行を提供する機器の始めとして推進駆動機器があるが、安全・安定輸送の基本を実現するため、より信頼性が高く、人手の掛からない環境に適合する優れた製品の提供に注力してきた。

これらのコンセプトを実現するため、推進制御機器・補助電源機器に電力半導体素子IGBT(Intsulated Gate Bipolar Transistor)に自己保護機能を設けたIPM(Intelligent Power Module)を応用したMELPACシリーズに代表される新設計思想のインバータ・コンバータ装置により、高信頼性・小型軽量化・省保守化・低騒音化、環境負荷低減を図った製品を市場投入した。

その具体的応用例として、走行風利用・速度センサレス制御・純電気ブレーキを適用した製品をこの特集で紹介している。

車両用主電動機では、当社開放型誘導電動機はシンプルで堅牢(けんろう)でありその優れた絶縁性能のため、雪の北米、酷暑で砂塵(さじん)の厳しいインドなど過酷な環境において高い信頼性を実証できたが、更なる省保守・低騒音化の要求にこたえるため、全閉型誘導電動機を製品化した。

3.2 車両情報システム

鉄道車両に搭載される制御・監視ネットワークシステムは、ITの急激な進歩により、列車の安全・安定運行、快適な乗客サービスに欠くことのできないものとなった。

当社は、日本鉄道車輛工業会規格に合ったシステムを国内外向けに製作納入しているが、その規格の国際化に取り組んでいる。この特集では、国際規格環境における要求仕様とその対応について述べる。

4. む す び

鉄道輸送は、安全・安定輸送を経済的に実現し、乗客へのサービスを向上させて、時代の最新技術で発展をし続けている。当社は、その各種市場での最新技術を統合最適化し鉄道車両用電機品に駆使し提供していく所存である。

EF510形式交直流電気機関車の 主回路システム

萱野博之* 小林伸匡*
根来秀人* 菅野 崇**
伊藤大介*

Power Circuit System of EF510 AC/DC Electric Locomotive

Hiroyuki Kayano, Hideto Negoro, Daisuke Itou, Nobumasa Kobayashi, Takashi Kanno

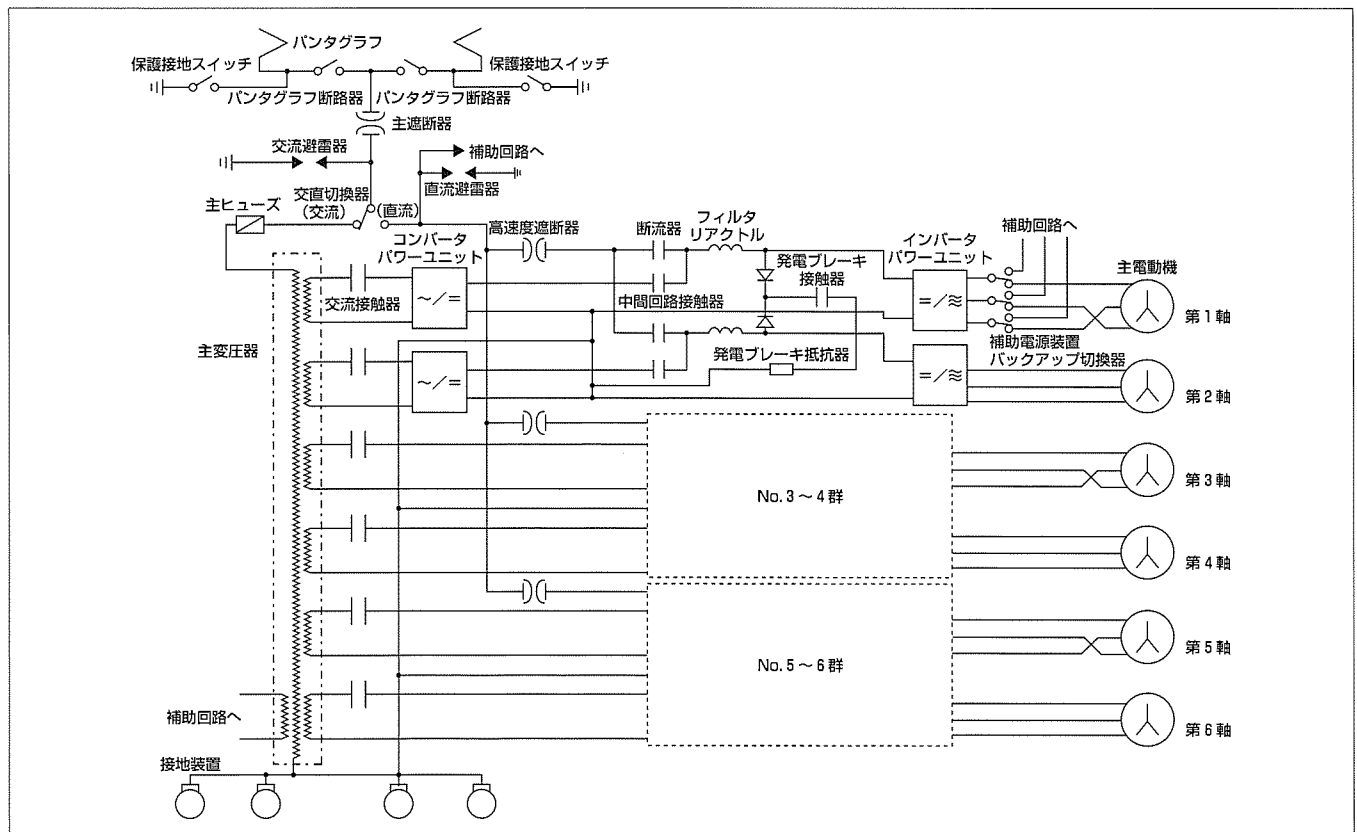
要 旨

EF510形式交直流電気機関車の主回路システムは、直流回路部分を2レベルVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータシステム、交流回路部分を3レベルPWM(Pulse Width Modulation)コンバータシステムで構成した。

なお、各回路の主要構成要素であるパワーユニットについては、機関車用として、強制風冷方式を適用し、小型・大容量化を実現した。

このEF510の制御回路に適用する電子制御装置には、32ビットマイクロプロセッサ(CPU)及びデジタルシグナルプロセッサ(DSP)を採用して制御の高速化を図り、コンバータ制御、及びインバータ制御の高機能化を実現している。

車両完成後、性能確認のため、各種性能試験、誘導障害試験、空転制御調整試験を実施し、所期の性能を満足することを確認した。



EF510主回路システム

- (1) 特別高圧回路(AC20 kV)：EF81にならった回路方式を採用
パンタグラフ断路器、主遮断器、交直切換器で構成
- (2) 高圧回路(DC1,500V)：IPM(インテリジェントパワーモジュール)応用主変換装置を適用
高速度遮断器を主電動機2台ごとに適用。交流接触器、コンバータパワーユニット、中間回路接触器、断流器、フィルタリアクトル、インバータパワーユニットを主電動機ごとに適用。発電ブレーキ抵抗、接触器は主電動機2台共通の回路構成。

1. ま え が き

このたび、日本貨物鉄道(株)向けとして、交流(50/60Hz)及び直流電化区間が混在する線区の貨物列車けん引用のEF510形式交直流電気機関車が開発された。

この機関車は、EF81形交直流電気機関車の後継機に位置付けされる。

本稿では、このEF510向けに開発した主回路及び制御システムの概要、主変換装置の構成と試験結果について述べる。

2. 主要諸元

この機関車の主要諸元を表1に示す。

3. 主回路システムの概要

3.1 主回路システムの構成

要旨のページに主回路の概略図を示す。

パンタグラフに接続する特別高圧回路は、パンタグラフ断路器、主遮断器と交直切換器で構成する。

パンタグラフで集電した電力は、交流区間では主回路ヒューズを経由して主変圧器に供給し、直流区間では高速度遮断器を経由して中間直流回路に供給する。

コンバータ、インバータ、フィルタリアクトルは、主電動機ごとに構成した6群独立の各軸個別制御方式である。

発電ブレーキ回路は主電動機2台共通の回路構成である。

3.2 主回路システムの特長

このシステムは次のような特長を持っている。

(1) 交流電動機駆動システム

EF210形式で実績のある高耐圧大容量IPM(3,300V, 1,200A)を使用したVVVFインバータによる各軸個別駆動方式とし、さらに、応答性に優れたベクトル制御を採用して粘着性能の向上を図った。

(2) PWMコンバータの採用

交流区間で使用する主整流器にはPWMコンバータを採用して力率の向上や高調波電流の低減を図った。主回路素子には大容量IPM(1,700V, 1,800A)を使用した。

(3) 冗長性の向上

主回路はコンバータ・インバータとも各軸単位で個別開放を可能にした。また、補助電源装置が万一故障した際には主回路用コンバータ・インバータをCVCF(Constant Voltage Constant Frequency: 定電圧定周波数)運転に切り換え、補助電源装置として使用することで運転継続を可能にした。

(4) 主回路装置の簡素化

従来の交直流車両にある交直変換器を省略して主回路の簡素化を図った。また、主回路接触器はすべて電磁操作式とし保守の容易化を図った。

(5) 誘導障害対策

交流区間におけるATS(Automatic Train Stop)機器への誘導障害対策として、主変圧器2次側に主回路フィルタ装置を追設し、ノイズの低減を図った。

(6) 発電ブレーキ回路の共通化

直流・交流区間ともに同一の回路構成とし、2群一括制御を適用してブレーキ抵抗器及び接触器を共通化した。

4. 制御システムの概要

4.1 制御システムの構成

図1に制御システムの概略を示す。特別高圧機器の制御はEF81形式を基本としたリレー論理で構成し、コンバータ・インバータ及び主回路接触器の制御は電子制御装置がつかさどることとした。コンバータ・インバータのゲート制御部及び電源回路は完全6群独立構成として冗長性を高めた。

4.2 制御機能

主な制御機能は次のとおりである。

(1) PWMコンバータ制御

3レベル変調方式の採用により、交流波形のリプルを低減し、主変圧器の一次電流に含まれる高調波成分の低減を図った。また、力率の可変制御機能も持っている。

さらに、電源周波数の自動検知機能を設けて50Hz及び60Hzに対応して安定した制御が可能である。

(2) VVVFインバータ制御

EF210形式で実績のある2レベル変調方式によるベクトル制御方式を採用した。力行時の軸重移動量に見合って各

表1. 主要諸元

電気方式	DC1,500V AC20,000V(50/60Hz)	
軸配置	Bo-Bo-Bo	
運転整備質量(軸重)	100.8トン(16.8トン)	
主要寸法(長×幅×高)	19,800×2,880×4,280(mm) (パンタ折りたたみ)	
機関車性能	定格出力	3,390kW(1時間定格)
	定格引張力	199kN(1時間定格)
	最高運転速度	110km/h(設計最高速度120km/h)
主電動機	三相かご形誘導電動機 565kW 強制風冷式	
主変換装置	PWM方式電圧形コンバータ (3レベル変調方式) VVVF方式インバータ (2レベル変調方式) 705kVA×2回路/主変換装置 冷媒レス強制風冷式	
主変圧器	外鉄形ブリーザ式送油風冷式 3,490kVA	
補助電源装置	静止形インバータ式 170kVA	
ブレーキ方式	発電ブレーキ(抑速/停止) 併用電気指令式空気ブレーキ	

軸の引張力を制御する軸重移動補償制御や入力電流制限制御機能も持っている。

(3) 空転再粘着制御

全6軸の回転数を基に機関車基準速度を演算して、これによる各種の空転検知と再粘着制御を適用し路面が滑りやすい条件においても引張力の確保と回転数の変動を抑制している。

(4) SIVバックアップ運転機能

万一補助電源装置(SIV)が故障した場合には、運転台からの遠隔操作で、1群の主変換装置をCVCF運転に切り換えて補助回路機器に三相交流が給電できる。

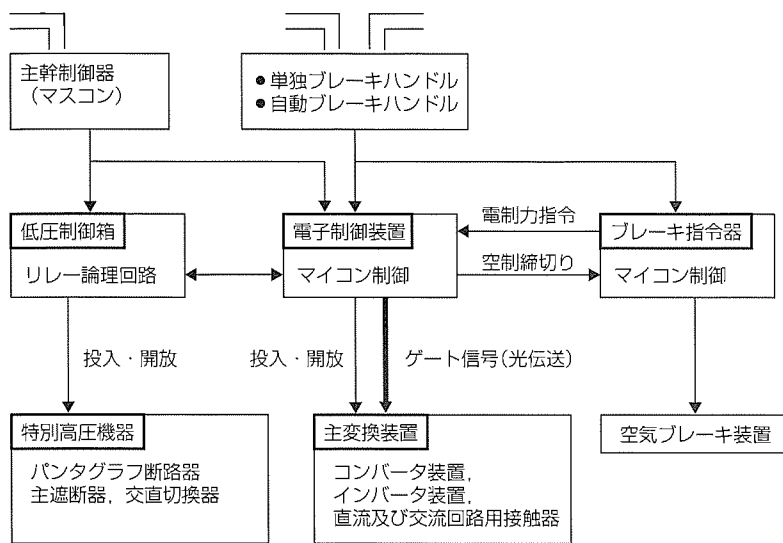


図1. 制御回路システム構成

5. 主変換装置の構成

主変換装置は、コンバータ部パワーユニット、インバータ部パワーユニット、フィルタコンデンサ、フィルタリアクトル、直流及び交流回路用接触器などから構成し、2群分を1箱に収納してある。図2に主変換装置の外観を示す。また、ゲート制御装置や制御電源は電子制御装置として運転室に配置してある。制御継電器類は機械室配置の低圧制御箱に収納してある。

主な特長は次のとおりである。

(1) パワーユニット

コンバータ・インバータのパワーユニットは、それぞれ各1群分で構成し、冷媒が不要な冷却フィンを採用した。

また、主回路配線やフィルタコンデンサの低インダクタンス化により、スナバ回路の低損失化を図り、強制風冷方式を適用することにより機器の小型化を実現した。

(2) 機器の集約化

フィルタリアクトルや直流及び交流回路用接触器などすべての主回路機器を収納して艤装(ぎそう)や保守作業の簡素化や小型・軽量化を図った。なお、機器の点検は前面側のみで可能なように機器配置などに配慮してある。

(3) 機器の冷却

パワーユニットやフィルタリアクトルの冷却は、箱の下部から冷却風を取り入れて屋根上に排風する。冷却風は主電動機用と共通の主送風機から供給される。

6. 試験結果

東海道線、奥羽線、北陸線などで各種性能確認走行試験を実施し、直流・交流区間とも所期の性能が得られていることを確認した。

図3に、けん引試験時のオシログラフを示す。構内にお

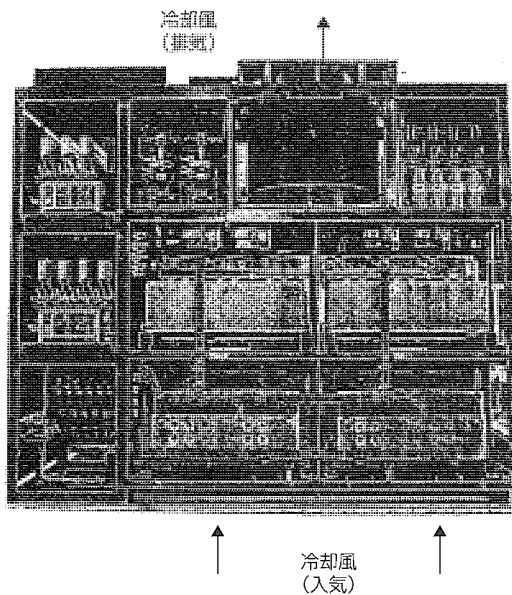


図2. 主変換装置の外観

いて、負荷けん引条件で、最大ノッチ(18ノッチ)を扱い、計画値相当のけん引力が得られていることを確認した。

また、信号機器に対する誘導障害及び架線電流に含まれる高調波成分も規制値をクリアしていることを確認した。

さらに、空転制御調整試験を実施して、ベクトル制御を応用した空転再粘着制御の特性を確認し、撒砂なしとして、散水条件や洗剤を散布した条件においても適正な制御状態であることを確認した。

図4に、構内での、散水条件による、空転制御調整試験時のオシログラフを示す。散水条件において、最大ノッチを扱い、起動。空転により速度が変動しているが、発散することなく、けん引力を確保しながら加速している。

なお、本線上においても、12%の上り勾配(こうばい)から散水を行い、1,200tの貨車を起動可能であることを確

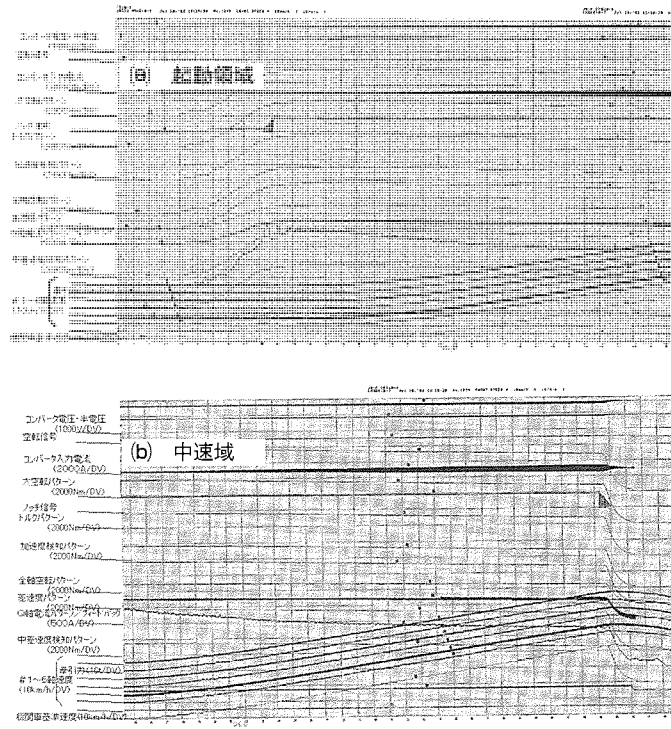


図 3. けん引性能測定試験

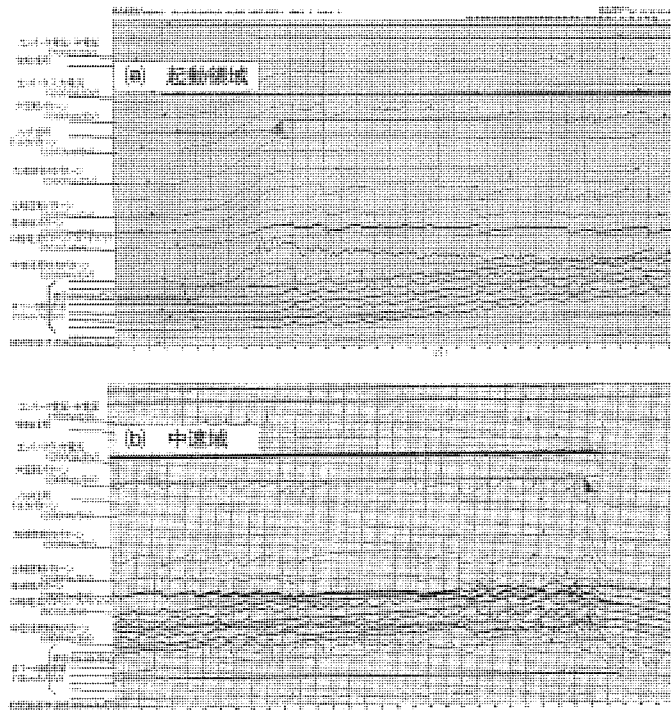


図 4. 空転制御調整試験

認した(北陸トンネル内での勾配で確認。)

7. む す び

以上、EF510形式交直流電気機関車の主回路システムの

概要、主変換装置の構成及び試験結果について述べた。この機関車の開発に当たり多大のご尽力をいただいた関係の方々へ深く感謝する。

小田急電鉄3000形向け VVVFインバータ装置

加藤 肇* 田中 毅**
小笠原 誠* 高橋哲也**
竹岡俊明**

VVVF Inverter System of Odakyu Electric Railway 3000 Series

Hajime Kato, Makoto Ogasawara, Toshiaki Takeoka, Takeshi Tanaka, Tetsuya Takahashi

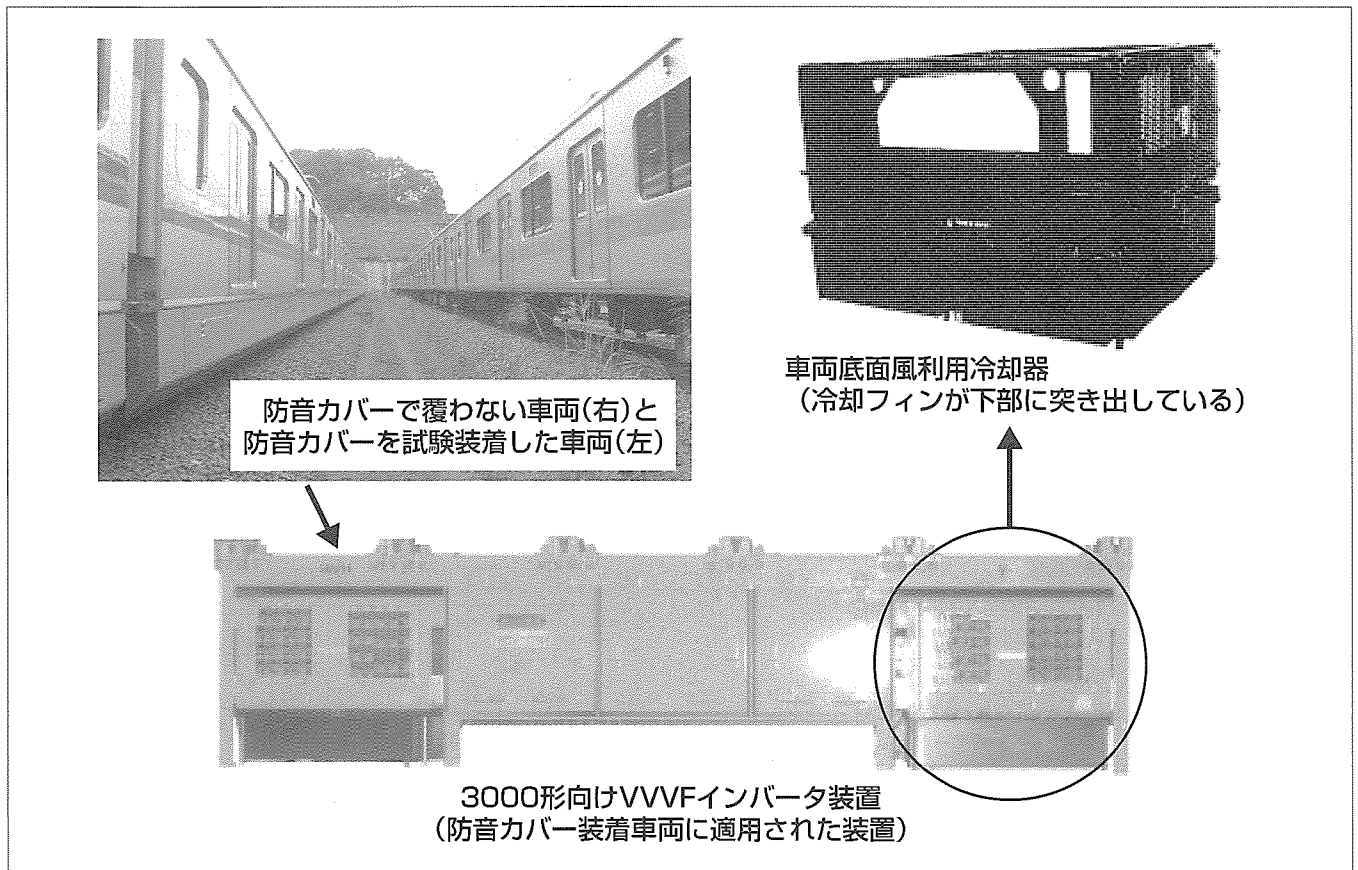
要 旨

小田急電鉄(株)では、電車が走行する際に発生する騒音や振動を可能な限り低減するため、新型車両の投入や線路の改良を推進するなど、鉄道が環境に与える負荷を削減するために様々な環境対策を進めている。

その騒音対策の一環として、車両自体から発生する騒音を低減させるために、防音カバーを試験的に装着した通勤車両(6両1編成)を2004年2月に営業線に投入した。

そこで三菱電機では、VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ装置をこの防音カバーの試験装着車両に適合させるため、主回路素子を冷却するために車両底面の走行風を利用し、さらに、環境負荷の小さいアルミドライパネル冷却器を開発して現車適用を行った。

現車への適用に当たり走行試験によって冷却性能を確認したので、その内容について述べる。



小田急電鉄3000形車両(防音カバー試験装置)及び電機品の外観

騒音の低減を目的に、車体側面の下部全体に防音カバーを装着した検証が進められている。この防音カバーを試験装着した車両に適合させるため、3000形向けVVVFインバータ装置は、主回路素子を冷却するための冷却フィンを下部に突き出しており、車両底面風を冷却風として利用する構造としている。上の写真は防音カバー装着車両とその車両に適用したVVVFインバータ装置である。

1. ま え が き

小田急電鉄では、電車が走行する際に発生する騒音や振動を可能な限り低減するため、新型車両の投入や線路の改良を推進するなど、鉄道が環境に与える負荷を削減するために様々な環境対策を進めている。

その騒音対策の一環として、車両自体から発生する騒音を低減させるために防音カバーを試験的に装着した通勤車両(6両1編成)を投入した。これは、車両から発生する騒音源が床下部分に集中していることに着目し、車体側面の下部全体に遮音・吸音性能のある防音カバーを試験的に装着したものである。2004年2月に営業線に投入し、約1年をかけて、走行音の低減効果や耐久性など実用面での検証を行っている。

そこで、三菱電機では、この防音カバーを試験装着した車両に適合させるために、VVVFインバータ装置の主回路素子の冷却風として車両底面の走行風を利用し、さらに、環境負荷の小さいアルミドライパネル冷却器を開発して現車適用を行った。

本稿では、車両底面風を利用したこのドライパネル冷却器の現車適用に当たり走行試験によって冷却性能を確認したので、その内容について述べる。

2. 防音カバー試験装着車両

表1に防音カバーを試験装着した3263編成のVVVFインバータ装置の主要諸元を示す。

この防音カバーの試験装着車両は6両編成固定であるが、3000形3次車としてはそのほかにも8両編成固定があり、こうした主回路構成の多様化に対応するために、8個モータ駆動用と4個モータ駆動用のVVVFインバータ装置を製作している。

表1. 主要諸元

項目	内容
車両形式	3000形3次車
編成号車	3263編成
車両編成	3M3T(6両固定)(図1参照) (M:駆動車, T:付随車)
電車線電圧	DC1,500V
主電動機定格	190kW×4個×2群制御 (ただし, 8個モータ駆動用)
主回路方式	三相2レベルPWMインバータ
主回路構成	図3参照
最高運転速度	120km/h
制御方式	ベクトル制御方式
制御機能	速度センサレス制御適用 純電気ブレーキ制御適用

DC: Direct Current
PWM: Pulse Width Modulation

なお、VVVFインバータ装置の特長としては、主回路では、IPM(Intelligent Power Module:自己保護機能付きIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor), 3,300V, 1,200A)素子を用いた2レベルインバータで構成し、1台のインバータ当たり4個のモータを一括制御している。

一方、モータ制御方式では、ベクトル制御方式を採用し、モータ制御性能の向上を実現している。

図1に防音カバー試験装着車両の編成状態、図2に車両機装(ぎそう)状態とドライパネル冷却器の配置図、図3に8個モータ駆動用VVVFインバータ装置の回路図を示す。

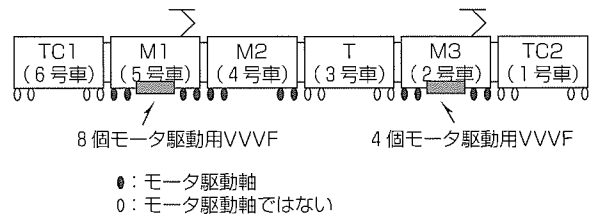


図1. 防音カバー試験装着車両の編成状態

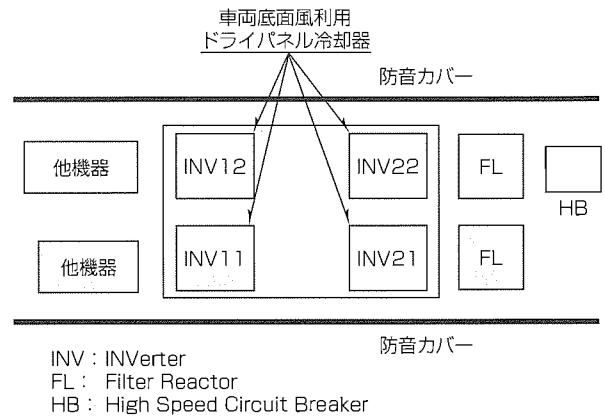


図2. 車両機装状態とドライパネル冷却器の配置図 (8個モータ駆動用VVVFを上から見た図)

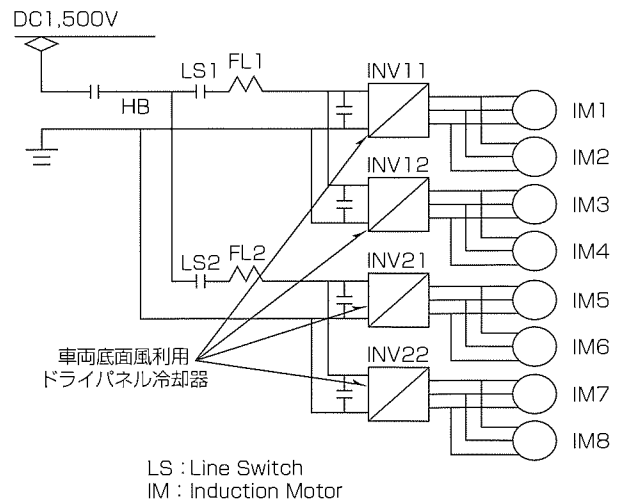


図3. 8個モータ駆動用VVVFインバータ装置の回路図

ドライパネル冷却器の配置は、冷却フィンが車両底面の走行風を最大限受けられるように、VVVFインバータ装置の四隅に配置して下部に突き出しており、防音カバーで覆われた車両に適した構造になっている。

3. 車両底面風利用ドライパネル冷却器の製品適用

2002年に営業適用した3000形1, 2次車では、車両側面の走行風を利用したドライパネル冷却器を適用して、冷却器の小型軽量化の実現と、冷媒レスによる信頼性の向上、及び環境への配慮を図った。

そして今回、3000形3次車の3263編成では、車体側面の下部全体に遮音・吸音性能のあるカバーを装着することにより騒音の低減を図るため車両底面風を利用したドライパネル冷却器の製品適用を行ったが、底面風利用冷却の場合、側面冷却に比べて、多くの風量を期待できないこと、走行風が他機器の干渉を受けやすいこと、発熱体が上部にあり冷媒の対流による冷却ができないなどの課題があった。

そこで、ドライパネル冷却器のフィン温度上昇値を導出するシミュレーション技術、低損失タイプIPM素子の適用、機装メーカーとの機器配置の検討により、上述の課題を解決した。

車両底面風利用のドライパネル冷却方式は、2000年にニューヨーク地下鉄で試験走行を行ったのを始めとして2001年から海外(香港・インド)で営業運転に使用されているが、国内向けでは、小田急電鉄の3000形3次車が初適用となった。

4. ドライパネル冷却器の熱設計検証

ドライパネル冷却器の熱設計検証では、実際の走行ランカーブにより、冷却フィンの温度上昇値をシミュレーションで導出した。

図4にシミュレーション結果(波形)を示すが、この波形では、冷却器フィン温度の変化と車両速度を示している。

なお、シミュレーション条件は、満車条件(定員の250%)、

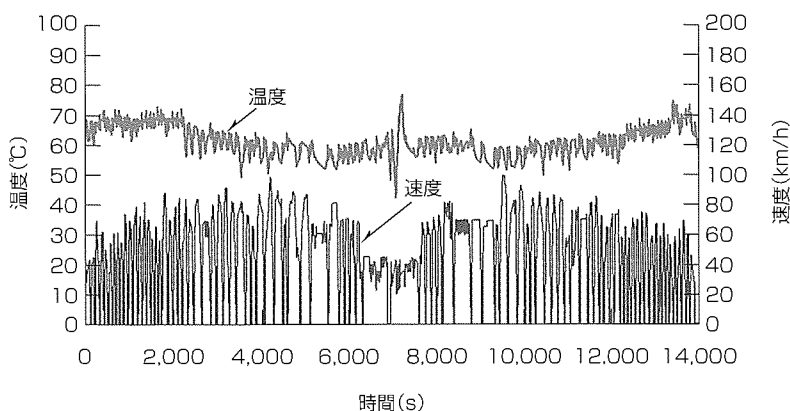


図4. 冷却フィン温度のシミュレーション結果(波形)

小田急線各駅停車である。

このシミュレーションでは、車両速度と走行風により、主回路素子の発熱量と冷却性能を導出し、さらに、冷却器のフィン温度を導出することによって、設計段階で熱的に問題ないことを確認することが可能である。

なお、走行風は他機器の干渉を受けやすく、これまでのフィールドデータから、底面の走行風は側面に比べて少なくなることが分かっており、今回の熱設計条件に反映した。

以上のシミュレーションを実施した結果、全般として、今回の走行条件においては十分な冷却性能を持っており、設計段階で熱的に問題ないことを確認した。

また、今回のシミュレーション結果について、ある特徴が見られたので、その内容を以下に示す。

(1) 走行区間と温度上昇の関係

冷却器のフィン温度は全線走行時の平均値が約60℃に対して、新宿寄りの都心側で約10K高くなっている。

この原因は、駅間隔が短く、VVVFインバータの動作率が増加したためである。

逆に、小田原寄りの郊外では、比較的長い時間、高い速度で運転するために冷却性能が向上し、冷却器フィン温度の上昇値は低く抑えられている。

(2) 箱根登山線走行時の温度上昇

箱根登山線を走行した場合、下り勾配(こうばい)が連続する区間で一時的にフィン温度が約15K上昇している。

この原因は、比較的大きいブレーキ力で電気ブレーキを連続使用するためである。

5. 温度上昇試験結果

3263編成(防音カバー試験装着車両)営業線走行時の冷却フィンへの走行風の風速、吸込口(排気)の温度、主回路素子直下の温度上昇の確認を行い、設計値と測定結果の比較と、底面走行風利用ドライパネル冷却器の性能評価を行った。

5.1 試験条件

表2に温度上昇試験条件を示す。

5.2 試験結果

5.2.1 車両底面走行風の測定結果

図5及び表3に車両底面風の設計値と実測値の比較を示す。走行風の測定結果は設計値と同等又は設計値よりも上回っており、冷却フィンの走行風として問題ないことを確認した。

また、今回の試験では、車両の走行方向でドライパネル冷却器付近の走行風に対し、比較的大きな影響を及ぼすことが分かった。これは、床下における他の機器配置状態が影響していると考えられる。

5.2.2 温度上昇試験結果

表 2. 試験条件

項目	内容
試験車両	3263編成
測定号車	5号車(M1車)
荷重条件	空車
試験実行日	2004年2月2日(月)
走行区間	小田原線, 多摩線, 江ノ島線
測定方法	走行風 冷却フィンにビトー管を取り付けて測定
	温度 冷却器吸込口(排気)は熱電対, 冷却器フィン温度はサーミスタで測定

表 3 に, 冷却器のフィン温度上昇値について, 設計値(空車条件)と測定結果の比較を示す。なお, 冷却器のフィン温度の測定結果は営業線走行中の最大値で評価した。

その結果, 表に示すとおり, 設計値21Kに対して, 現車では18.9Kと, 約2K設計値を下回った。

なお, 車両底面風利用ドライパネル冷却器及び主回路素子は, フィン温度の温度上昇限度値に対して, 問題のないことを確認した。

5.2.3 試験結果の評価

試験結果では, ドライパネル冷却器に必要な走行風及びドライパネル冷却器の冷却性能について, 設計に対して, ほぼ同等又はそれを上回る性能が得られており, 良好であることを確認した。

しかし, 車両底面風の測定では車両の走行方向条件によって走行風がばらつく結果となったが, これは, ドライパネル冷却器付近の走行風が車両床下の機器配置に大きく影響を受けていることが原因であることを示している。この点からも, 床下の機器配置が冷却性能を決定する上で重要なポイントであると考えている。

また, 現車での温度上昇試験結果は, 設計値に対して, 約2K下回っており, この原因は車両底面風の平均値が設計値を上回り, 冷却性能が向上したものと考えられる。

以上から, 試験結果は, 設計値に対して, 現車の実測値が多少ばらついているが, このシミュレーション技術を適用することによって高い精度の熱設計を行って検証することができた。

6. む す び

騒音の低減を目的に, 車体側面の下部全体に防音カバー

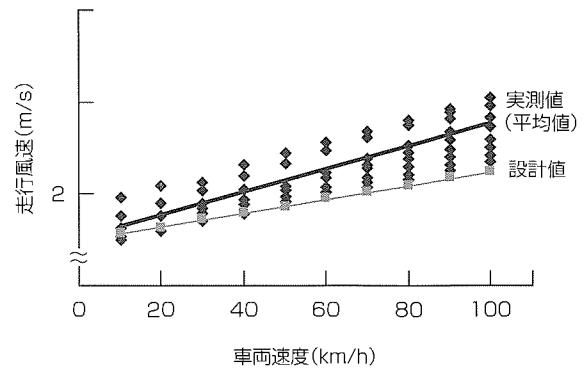


図 5. 車両底面風の設計値と実測値の比較

表 3. 設計値と測定結果の比較

項目/条件	設計値	測定結果
① 走行風速 (速度40(km/h)時)	1.2(m/s)	1.5(m/s) ~3.3(m/s)
② 冷却器のフィン温度 上昇値(最大値)	21(K) (空車条件)	18.9(K)

を装着した検証が小田急電鉄の3000形3次車で進められている。そこで, 3000形3次車向けのVVVFインバータ装置では, この防音カバー試験装着車両に適合させるために, 車両底面風を利用したドライパネル冷却器を適用した。

本稿では, 車両底面風利用のドライパネル冷却器の設計検討や現車試験の測定結果について述べるとともに, 設計段階では精度の高い熱設計が実施できることを確認し, 試験結果では冷却器に必要な走行風及び冷却器の冷却性能が良好であることを確認した。

なお, 三菱電機では, 今後とも, 今回紹介した防音カバー試験装着車両に適合したVVVFインバータ装置の現車適用のほか, 省エネルギー化推進など鉄道が環境に与える負荷を削減するための製品開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 亀井 進: 小田急電鉄8000形車両のインバータ化改造工事, 鉄道車両と技術, No.98, 17~24 (2004-7)
- (2) 菊池高弘, ほか: 車載用パワエレ機器の現状と今後の展望, 三菱電機技報, 77, No.11, 723~726 (2003)

車両情報システムの海外展開

増渕洋一*
竹山雅之*

Train Information System in Overseas Market

Yoichi Masubuchi, Masayuki Takeyama

要旨

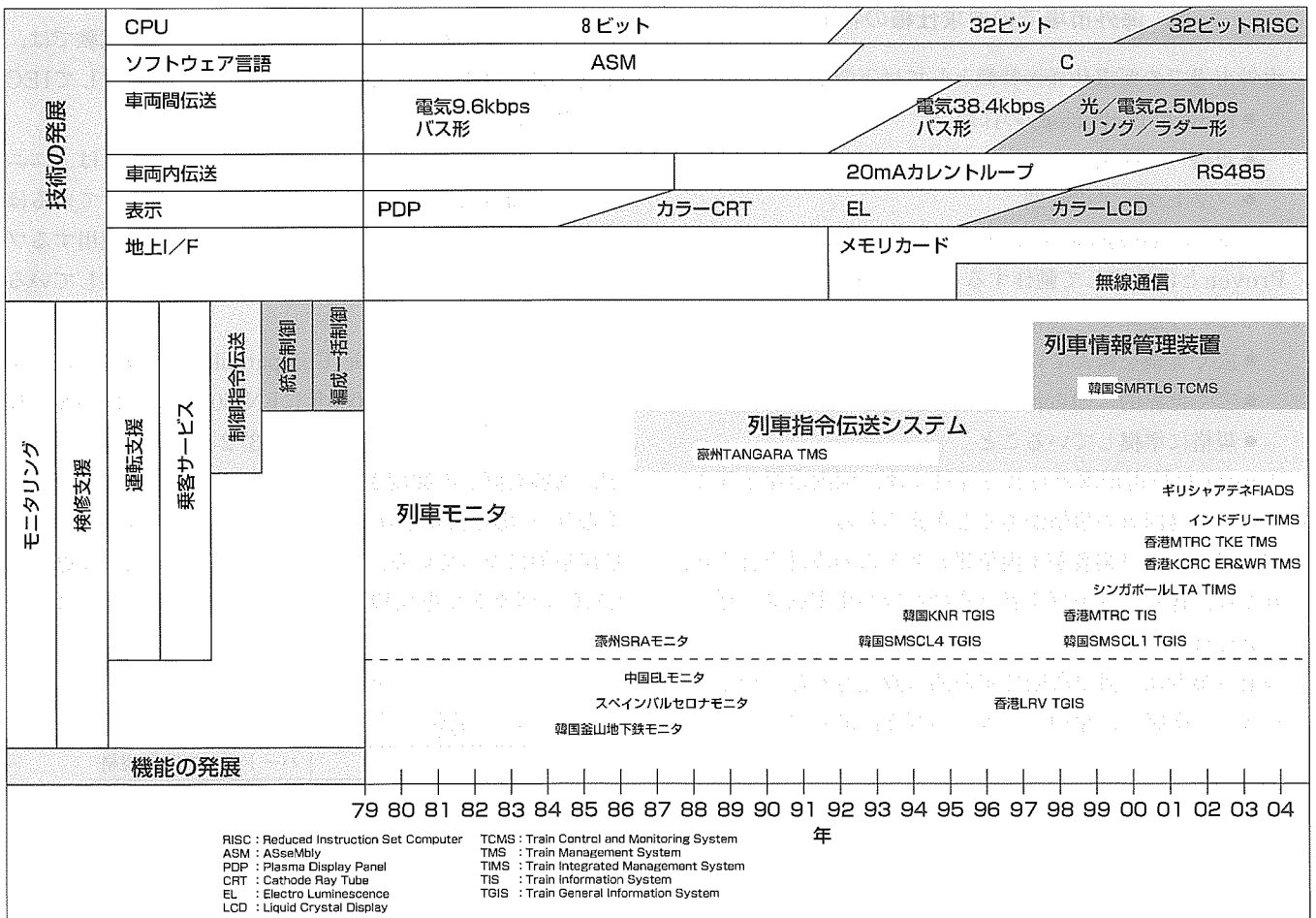
車両情報システム，すなわち鉄道車両に搭載される制御・監視ネットワークシステムは，列車の安全・安定運行への貢献や，快適な乗客サービスの提供に欠くことのできないものとして，近年その重要性を増している。三菱電機は，国内市場で10,000両以上の車両に車両情報システムの納入実績を持っているが，海外市場においても過去20年にわたり累計3,000両を超える車両に納入実績を持っている。

海外市場で求められる機能は基本的に国内向けと同じであるが，顧客要求仕様の特徴として“Proven Technologyの採用”“規格への準拠”“ソフトウェアの公開”が挙げられる。

規格への準拠では，鉄道車両用の伝送規格として制定さ

れているIEC(International Electrotechnical Commission) 61375-1への対応策として，当社は，IEC国内委員会傘下の作業部会で鉄道事業者及び各メーカーと協力して，日本で実績のある最新の伝送方式をIEC 61375-1に追加しようとする活動を行っている。

ソフトウェアの公開では，応答性や信頼性の高さを得るために独自のソフトウェア技術を発展させてきたが，鉄道事業者にとっては，ソフトウェアの保守性に不安を感じさせることになる。対応策として，FA(Factory Automation)分野に適用されている汎用技術を取り入れることや，最新のオブジェクト指向技術を適用したソフトウェア生産の標準フレームワークの適用を進めている。



車両情報システムの技術の発展と海外納入実績

当社は，これまで海外市場において3,000両以上の車両に車両情報システムを納入している。

1. ま え が き

車両情報システム、すなわち鉄道車両に搭載される制御・監視ネットワークシステムは、鉄道輸送の質の向上として、列車の安全・安定運行への貢献や、快適な乗客サービスの提供に欠くことのできないものとして、近年その重要性を増している。

当社は、日本における車両情報システムのトップメーカーとして技術の発展と市場拡大に努め、1979年以降、10,000以上の車両情報システムの納入実績を持っており、海外市場においても約3,000台以上の車両に車両情報システムの納入実績を持っている。当社の車両情報システムの海外展開について、歴史、特徴とそれへの対処、今後の展望について述べる

2. 納 入 実 績

当社は、海外市場において、1984年の韓国釜山地下鉄にモニタ装置を納入して以降、オーストラリア、スペイン、中国、香港、シンガポール、インド、ギリシャとアジアを中心に輸出を行っている。特に1990年代後半から大きな伸びを示している(要旨の図参照)。

3. 海外市場での要求仕様の特徴

海外市場での要求仕様の特徴としては下記が挙げられる。

- Proven Technologyの採用
- 規格への準拠
- ソフトウェアの公開

(1) Proven Technologyの採用

Provenとは安定して動作することが証明(proven)されているという意味で、具体的には下記内容を包含している。

- 広く実績を積んでいること
- 広く世界的に知られた技術を使用していること
- 規格に準拠していること

Provenな技術が求められる背景には、国内市場と異なった海外市場固有の事情があると考えられる。

国内では鉄道事業者が車両情報システムの設計を行うが、海外では、通常、鉄道事業者は設計を行わず車両メーカーが設計を行う。

鉄道事業者は、設計段階で定期的に設定されるデザインレビューに出席し、車両メーカーの行う設計が自分たちの望むものになっているかを確認し承認する。

必然的に、鉄道事業者の関心は、新技術の開発や自社技術力の向上といった技術面よりも、システムの安定性、操作性、機器保守の容易性といった取扱い面に置かれ、確実性のあるProvenなシステムを望む傾向にある。

例えば、鉄道事業者の要求仕様書には下記のような記述がされることがある。

“While XXXX does not wish to be a pioneer in the sense of using unproven computer technology, …”

当社は、国内外での1万台以上の実績を示すこと、また、下記(2)に示すように国際規格に準拠することで対処している。

(2) 規格への準拠

上記(1)に関連して、海外では規格に準拠していることが重要視される。

海外向け車両情報システムに要求されることが多い規格の一例を表1に示す。

それ以外にも鉄道事業者からの要求仕様書に挙げられている規格は、IEC規格、ISO規格といった国際規格が整備される以前の名残があるためか、EN(欧州規格)、BS(英国規格)、IEEE(米国電気・電子通信学会規格)、RIA(鉄道産業規格)、MIL(米軍規格)など多岐にわたっており、これらすべてを要求されるままに応じるのは困難である。例えばEN 50155がIEC 571-1となり現在はIEC 60571となっているように規格番号は違うが中身はほぼ同一というものもあるので、適用規格については、鉄道事業者と交渉して適用規格の承認を得ることが必要である。

ハードウェア試験規格IEC 60571/IEC 61373は、国内ハードウェア試験規格のJIS E 5006/E 4031と比較すると、同等か厳しい内容となっている。例えば、振動試験では、振動周波数がJIS E 4031が0~30Hzなのに対してIEC 61373では0~150Hzまでとなっている。

しかしながら、海外市場向け車両情報システムは、ユニットの振動対策として筐体(きょうたい)を強化しているほかは国内向けと同一設計基準を使用しており、使用するプリント基板も同じものを使用して国際規格に準拠している(図1)。

EMC(Electro Magnetic Compatibility)規格については、EN 50121-3-2-1995が2000年にEN 50121-3-2-2000となり、さらに2003年にはIEC 62236-3-2として制定されるなど、内容見直しの頻度が高く、そのたびに試験内容が厳しくなり(一部は緩和されているものもある)、新たな試験項目が追加になっている。当社は、鉄道車両用電機品専用のEMCラボラトリを保持しており、規格内容の変更に対し

表1. 規格一覧

分野	規格	概要
ハードウェア	IEC 60571	ハードウェア試験規格
	IEC 61373	振動・衝撃試験の規格
EMC	IEC 62236-3-2 (EN 50121-3-2)	鉄道車両用EMC規格
	IEC 61000	イミュニティ試験規格
	EN 50155	エミッション試験規格
伝送	IEC 61375-1	TCN

TCN : Train Communication Network

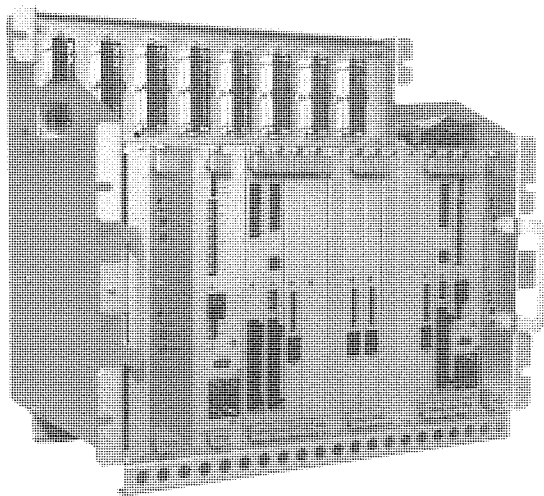


図1. 海外向け車両情報システムユニット

て迅速に製品の検証を行うことが可能な体制を整えている。

伝送規格であるIEC 61375-1は、1999年に鉄道車両用のネットワークとして欧州メーカーの技術を基に制定されたもので、制定の背景には、欧州で一般的であった大陸横断用の機関車列車において各メーカーの客車を接続するための相互接続性(Interoperability)が必要であることがあった。

制定時には既に国内外の各メーカーも独自のネットワーク技術を持っており、これらと比較して特徴のない仕様になっていたことから、各社はIEC 61375-1制定後も独自技術を使い続けており、2004年段階ではIEC 61375-1が世界的に普及しているとは言い難い。また、適用しようとした場合、次のような難点がある。

- 700頁にわたる膨大な規格仕様書に準拠する必要がある
- 第三者機関による認定試験(Comformance test)を受ける必要があるが、試験項目、認定方法がまだIECにおいて未整備である

当社の車両情報システムとIEC 61375-1の比較を表2に示す。

当社の車両情報システムは、編成全体の電空ブレンディングブレーキ演算や音声伝送を実現しているが、IEC 61375-1は、同等の機能を実現するには、伝送性能が不足している。

(3) ソフトウェアの公開

海外案件では出荷後3～5年と規定される保証期間が過ぎて以降は不具合であっても基本的には有償での対応となるため、鉄道事業者によっては、ソフトウェアもメンテナンスしていきたいという意向を持っているところがある。そのために、鉄道事業者から、ソフトウェアソースコード及び記述書、トレーニングの提供が要求されることがある。

これに応じることは、技術流出の可能性があり、また膨

表2. IEC61375-1との比較(車両間伝送の場合)

	三菱電機車両情報システム	IEC 61375-1
規格	ANSI/ATA 878.1	IEC 61375-1
伝送速度	2.5Mbps	1 Mbps
接続方式	リング形ラダー形	マルチドロップバス形
データサイズ	最大240バイト	最大132バイト
波形電圧	16Vp-p	6 Vp-p

ANSI : American National Standard Institute
ATA : ARCENT Trade Association

大な資料作成が必要となる。当社は、ソフトウェアオープン化要求に対しては1998年に故障データベース機能を開発し、以降の海外向けシステムに標準で搭載することで対処している。

故障データベースは、故障に関する機能をソフトウェアプログラムから切り離してデータベース化したもので、具体的には、下記の設定がパソコン上でのパラメータ設定で変更可能になっている。

- 検知する故障の追加、削除
- 故障検知論理の変更
- トレースデータに記録する信号の種類
- トレーストリガの変更
- 故障名称の変更
- 運転台画面に表示する故障処置ガイダンスの内容
- 入出力信号名称の変更、追加、削除
- 故障レベルの変更(記録だけにするか、故障画面表示するかなど検知後の処理レベル)

4. 展 望

今後の海外市場での展開には、次の課題に取り組む必要があると考えている。

- 伝送系の国際規格化
- ソフトウェア汎用技術の採用
- 標準化

4.1 伝送系の国際規格化

IEC TC9(鉄道用電気設備とシステム専門委員会)においてIEC 61375-1改定が提案され、検討のためのAd Hocワーキンググループの開催が決定された。改定の方向は、既に世界各国の鉄道車両で実績のあるネットワーク技術をClosed Train^(注1)用の規格としてIEC 61375-1に追加しようというものである。背景には、既に実績のある各ネットワーク技術が無視できない存在になっていることと、規格の陳腐化を防止するためには技術の発達に応じた規格改定が必要であることなどが挙げられる。国内においても、

(注1) Closed Train : IEC 61375-1では、次のように規定されている。

“複数の車両で構成されていて、通常運用では車両構成が変わらない列車”

WTO(World Trade Organization)／TBT(Technical Barriers to Trade)協定により、国内規格は原則として国際規格に基づいて制定することが義務付けられているため、将来的にIEC 61375-1がJIS規格になり、これまで国内で培ってきた技術が国内においても使用できない可能性が出てきた。これらに対応するため、日本としても積極的に規格化に参画していこうということで、2002～2003年に取り組んだ国内規格化(JRIS(Japan Association of Rolling Stock industries Standard)化)の次の段階として、車両情報システムの伝送技術をIEC化するため、2003年からIEC TC9国内委員会の分科会としてMT33作業部会“列車内情報制御伝送系”がスタートした。

MT33作業部会の活動において、当社の車両情報システムをベースにした伝送規格が日本案の一つとして選ばれている。IEC規格化の今後の予定は以下のとおりである。

2004年8月後半：イタリアVeronaでAd Hocワーキンググループを開催

2004年10月：中国上海でIEC TC9年次総会を開催

Ad Hocワーキンググループは、IEC 61375-1改定案のレポートを作成して10月のIEC TC9年次総会に提出する。TC9年次総会で可決されると、正式にIEC規格化の作業がスタートすることとなる。

4.2 ソフトウェア汎用技術の採用

ハードウェア設計では3章に記述したように規格に準拠し、伝送設計では4.1節に記述したように伝送系の国際規格化を進めているが、ソフトウェア設計においても汎用技術を取り入れて、オープン性を指向していくことが必要と考えている。

理由は以下のとおりである。

- ソフトウェア公開の要請にこたえて保証期間終了後の仕様変更をユーザー自身で行えるようにする
- エンジニアリングリソースの確保を容易にする

現状は、独自ハードウェアに独自OSを搭載してシステムを構築している。これは鉄道車両向けに最適化して高い応答性や高い信頼性を得るためであるが、鉄道事業者にとっては、ブラックボックスになってしまい、保守ができないという不安がある。これらに対応するには独自技術だけでは限界があり、汎用技術を積極的に取り入れていく必要があると考えている。具体的には、運転台表示器への

Linuxの採用などが考えられよう。

ただし、汎用技術を活用するには、下記の点で注意を要する。

- 長期サポート
- 性能
- 信頼性・安定性

4.3 標準化

ソフトウェア設計では、4.2節に記述した汎用技術の採用だけでなく、システムの標準化も進める必要がある。仕様、納期、品質のばらつきを抑え、短期間で品質の高いソフトウェア設計を行うためである。

当社は、最新のオブジェクト指向技術を適用した車両情報システムの標準フレームワーク“PLATINA”を開発した⁽¹⁾。これは、車両情報システムにおいてどの鉄道事業者向けでも変わらない標準化可能な部分と、車両仕様、鉄道事業社固有の仕様のカスタマイズ部分に分離してシステムを再構築したものであり、ソフトウェア製作期間の短縮と品質向上が期待できるものである。このフレームワークの特長として、次の3つが挙げられる。

- ソフトウェアの部品化による再利用性の向上
- データ構造、プログラム自動生成
- パソコン上でシステムを模擬するエミュレータ環境

5. む す び

車両情報システムの海外展開の歴史、特徴と今後の展望について述べてきた。当社は、国内では既にたくさんの納入実績を持っているが、市場占有率という点では海外市場ではまだ数%であり、これは、逆に参入する余地が大いにあることを意味している。当社の強みは国内で鉄道事業者の厳しい要求にこたえてきた実績と技術的蓄積があることであり、これらを基に海外においても鉄道事業に貢献できるよう努力していきたい。

参 考 文 献

- (1) 角南健二，ほか：車両情報システムの将来展望，三菱電機技報，77，No.11，719～722（2003）
- (2) 鉄道車両における情報技術調査専門委員会：鉄道車両とIT，電気学会技術報告，No.886（2002）

HVIPMの高耐圧化と電鉄用 パワーエレクトロニクス機器への応用

田中 毅*
北中英俊*
有塚智彦*

High Voltage IPM and Application to Equipment of Railway Vehicles

Takeshi Tanaka, Hidetoshi Kitanaka, Tomohiko Aritsuka

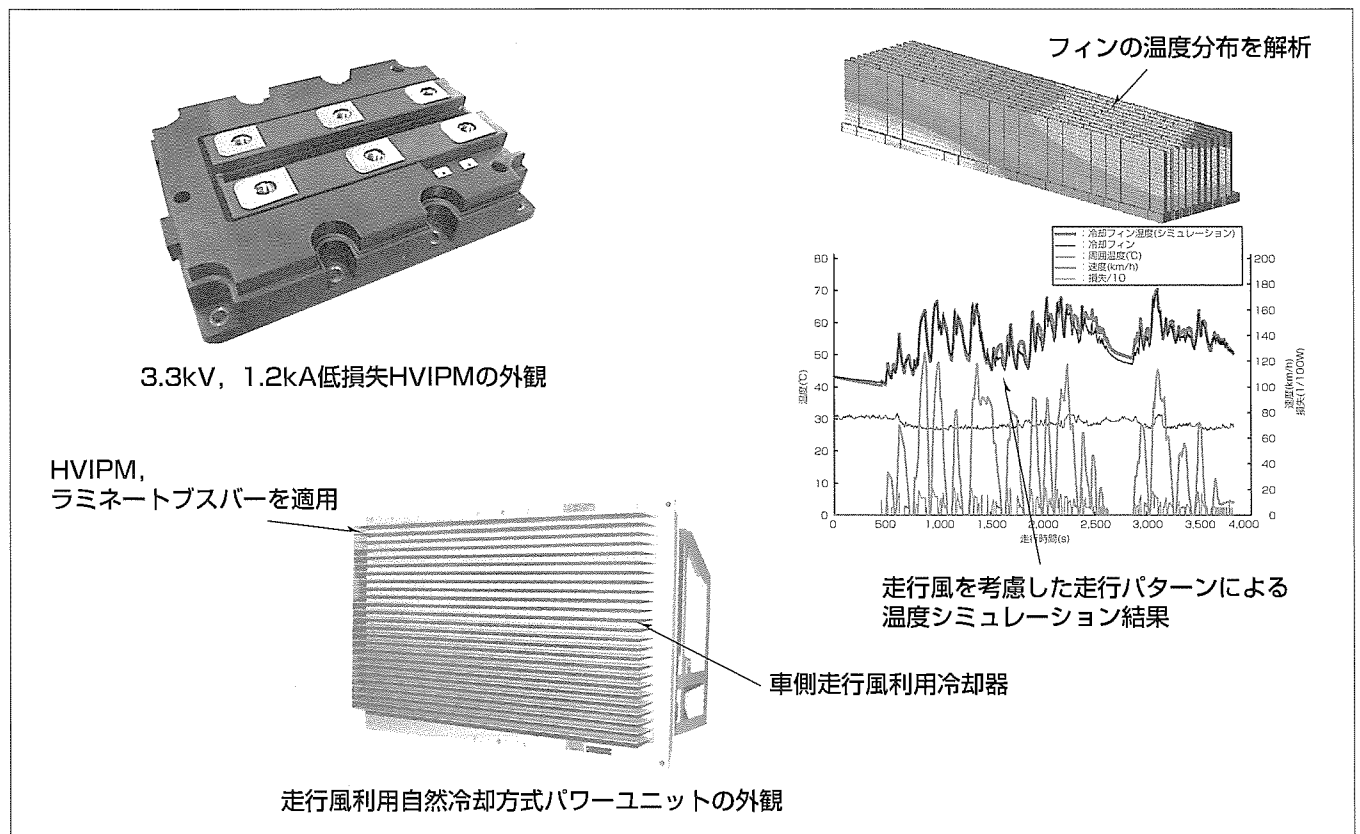
要 旨

鉄道車両におけるパワーエレクトロニクス応用技術製品として代表的なものに、車両推進制御装置(VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ装置、主変換装置)と補助電源装置(SIV(Static InVerter)装置)がある。これらの装置に適用される主回路半導体素子は、この約10年間で、GTO(Gate Turn Off thyristor)からパワートランジスタを経てHVIGBT(High Voltage Insulated Gate Bipolar Transistor)への急速な進歩を遂げた。近年では、これらHVIGBTの高耐圧化・低損失化に伴い、車両推進制御装置や補助電源装置の2レベル変調方式の実現

が可能となり、装置の小型化・高信頼化が進められている。

一方、近年の市場のニーズは、公共輸送に対する厳しい要求を背景とし、安全・安定輸送を目指した信頼性確保が大きく求められている。

三菱電機では、これらのニーズにこたえるため、車両用HVIPM(High Voltage Intelligent Power Module)の適用、低インダクタンス配線技術を駆使した完全なスナバレス構造の実現、車両の走行風を積極的に利用した走行風利用自然冷却方式などによって、小型軽量化・高信頼化を図っている。本稿では、これらの技術について述べる。



HVIPMと走行風利用自然冷却方式パワーユニットの外観

低損失HVIPMを適用することにより素子保護機能の充実による信頼性の向上と損失の低減を図り、車両が走行する際に流れる走行風を積極的に利用した走行風利用アルミドライパネルフィンを採用し、小型軽量化を図るとともに、メンテナンス性、環境適合性に配慮したパワーユニットを示す。設計には、多くのフィールドデータの蓄積によるシミュレーション技術を駆使し、冷却性能や素子配置の最適化を行っている。

1. ま え が き

近年の鉄道車両用電機品に対する市場のニーズは、小型軽量化とともに、公共輸送に対する厳しい要求を背景とし、安全・安定輸送を目指した信頼性確保が大きく求められている。当社では、これらのニーズにこたえるため、HVIGBTを母体とし、その駆動回路及び保護回路を一体収納した車両用HVIPMを開発し適用することにより、より小型で、より高信頼性を図っている。

本稿では、当社車両推進制御装置及び補助電源装置におけるHVIPMの応用技術について述べる。

2. 主回路半導体技術

2.1 概 要

主回路素子としては、高耐圧低損失のHVIPMの適用が主流となっている。HVIPMは、主回路半導体としてのIGBTチップとその駆動回路、保護回路を一体モジュール化したものであり、主回路半導体の故障に起因する異常に対して高速に保護することができる。また、駆動回路を内蔵していることから、駆動回路の省力化が可能となった。以下に、HVIPMの持つ保護機能を示す。

- 短絡・過電流保護
- 過温度保護
- 制御電源電圧低下保護

この適用によって、装置の高信頼化・小型化を実現している。当社の低損失HVIPMの外観を図1に示す。

2.2 HVIPMの高機能化と高耐圧化

HVIPMは、異常を検知したとき検知した異常状態ごとに異なるエラー信号を送出するため、そのエラー信号を確認することによって異常の内容を判別することができる。このため、故障解析やその対策に対し迅速な対応が可能となった。

また、図1に紹介したHVIPMは、主回路電位と制御回路電位の絶縁(AC4,000~6,000V)のために外部に絶縁インタフェース回路が必要であるが、近年、この絶縁機能をモジュール内に収納し外部のインタフェースが不要となる光ファイバ直接駆動方式のHVIPMも開発され、一部の車両推進制御装置に適用が開始されている。さらに、HVIPMの高耐圧化も進められており、4.5kV/1,200Aのものが製

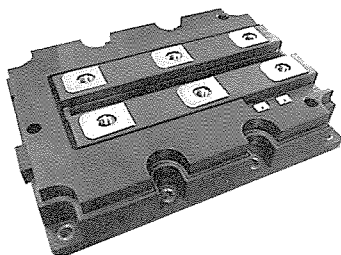


図1. HVIPMモジュール(3.3kV, 1.2kV)の外観例

品化され、6.5kV/600Aのものは現在開発中である。これらは、次世代の新幹線や機関車などの大容量機種への適用を計画中である。

2.3 HVIPMのシリーズ化

表1にHVIPM製品ラインアップを示す。車両用HVIPMとして、電圧は1.7~6.5kVクラス、電流は400~1,800Aのシリーズをそろえ、DC750~3,000Vまでの車両用制御装置のほぼ全領域の主回路電圧や出力容量に対応できるようにしている。

3. パワーユニットとHVIPMの適用

電車の架線には交流架線と直流架線があり、交流架線の場合は、20~25kVの交流架線電圧を主変圧器で降圧し、コンバータでいったん直流電力に変換してからインバータで再び交流電力に変換しモータへ供給する主回路構成となっている。これを主変換装置と称し、その代表例として新幹線が挙げられるが、この場合、主回路直流電圧は、DC2,400~2,600V、高いものでDC3,000Vが採用されている。

一方、直流架線の場合は、架線電圧がそのまま車両推進制御装置(VVVFインバータ)や補助電源装置の主回路電圧に設定される。直流車両用の直流架線電圧は、主として750(600)V、1,500V、3,000Vの3種類がある。

電動機の容量は、100kWから、日本では600kW程度、世界的には2,000kW程度まで幅広く存在する。容量の小さい電動機では2~4台の並列接続が普通であり、主回路半導体としては数百Aから2,000A以上の容量が必要となる。また、補助電源装置の出力容量も、30~250kVA程度まで幅広く存在する。

これらの主回路の電圧又は容量と、適用されるHVIPM、及び主回路変調方式の関係を表2に示す。最近では、素子の高耐圧化により主回路の2レベル化の開発が急速に進められており、直流架線における主回路直流電圧1,500VまでのVVVFインバータ装置や補助電源装置では、既に2レベル方式が主流となっている。

4. 主回路技術

4.1 スナバレス技術

当社のパワーユニットは構造的にはスナバレス構造が主

表1. 鉄道車両用HVIPM製品ラインアップ

定格電圧 V _{CES} (V)	定格電流 I _c [A]			
	400	600	1,200	1,800
1,700	-	-	-	PM1800HCE170
2,000	-	PM600HVA200	-	-
2,500	-	-	PM1200HCC250	-
3,300	PM400DCC330	-	PM1200HCE330	-
4,500	-	-	PM1200HCF450	-
6,500	-	PM600HCE650 ^{※1}	-	-

※1 開発中

表 2. 架電電圧・主回路方式とHVIPMの定格電圧/電流

用途	代表システム		主回路	HVIPM	
	架線電圧 (中間電圧)	駆動容量		定格電圧	定格電流
地下鉄インバータ	DC750V	140kW ×4MM	2レベル	1,700V	1,800A
在来線インバータ (直流架線)	DC1,500V	165kW ×4MM	2レベル	3,300V	1,200A
在来線主変換装置 (交流架線)	AC20kV (DC1,600~ 1,800V)	250kW ×4MM	3レベル	1,700V	1,800A
新幹線主変換装置	AC25kV (DC2,400V)	300kW ×4MM	3レベル	2,500V	1,200A
	AC25kV (DC3,000V)	300kW ×4MM	3レベル	3,300V	1,200A
補助電源装置	DC1,500V	100kVA	2レベル	3,300V	400A

流であるが、この実現のためには、素子遮断時の跳ね上がり電圧を抑制する必要がある。このため、主回路の浮遊インダクタンスを極限まで小さくする必要がある。浮遊インダクタンスを作る主回路を構成する要素として、フィルタコンデンサ、ブスバー、HVIPMがある。当社では、フィルタコンデンサの内部構造の工夫による低インダクタンス化、ラミネートブスバー採用による配線の低インダクタンス化、HVIPM内部電極構造の工夫によるモジュール内部インダクタンスの低減などによって、主回路の浮遊インダクタンスを100nH以下に抑えている。これに加え、HVIPMのスイッチング di/dt 制御によって、完全なスナバレス構造を実現している。

図2に当社のラミネートブスバーを適用したパワーユニットの一例を、図3にラミネートブスバーとフィルタコンデンサを組み合わせた例を示す。

特にラミネートブスバーに関しては独自のシミュレーションツールを開発し、低インダクタンス構造、電流の均等配分などの設計を実施し、構造の最適化を図っている。

また、このようなラミネート技術は低電圧の応用分野では従来から一般に用いられてきたが、車両用として高い主回路電圧、広い動作温度範囲、高信頼・長寿命への要求に対応するため、耐電圧性、耐熱性、耐コロナ性、寿命評価について、十分な評価を実施した。これらによって、完全なスナバレス構造を実現し、スナバ回路に必要なダイオードや抵抗、コンデンサなどの部品が不要となり、装置の小型化、高信頼化が可能となった。

4.2 フィルタコンデンサ

フィルタコンデンサには、内部の低インダクタンス化が要求されるとともに、小型化や高信頼化も求められる。そこで、当社では、フィルタコンデンサにオイルレスのモールドタイプ乾式コンデンサを開発し、採用を開始した。これにより、油漏れの心配がなくなるとともに、コンデンサの小型化も実現した。さらに、油漏れに対して考慮する必要がないため、取付け方向に制限がなくなり、装置構成に

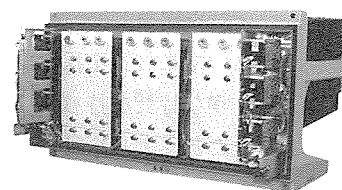


図 2. HVIPMとラミネートブスバーを適用したパワーユニット

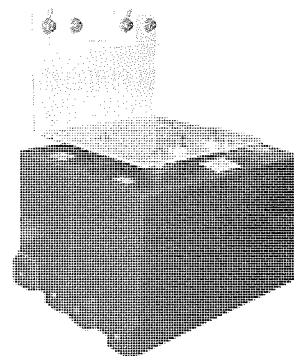


図 3. 乾式フィルタコンデンサとラミネートブスバー

自由度が増し、装置の最適構造化がより可能となった。図3にそのモールドタイプ乾式フィルタコンデンサの一例を示す。

4.3 主回路構成

前述のように、主回路の変調方式としては2レベル方式と3レベル方式があり、2レベル方式の方が回路構成や制御方式が簡単で、素子の高耐圧化の実現もあって、インバータでは既に2レベル方式への移行が進んでいる。

一方、コンバータでは、常に多パルスモードで動作するためその発生損失が大きく、かつ、主変圧器騒音や帰線電流高調波の信号機に対する影響といった問題のため、インバータに比べて2レベル化が難しく、国内では現状3レベル方式が主流である。しかし、最近のHVIPMの低損失化、冷却器の高効率化、対象信号器に最適化したフィルタの適用などによって、海外向け装置の一部では2レベルコンバータを採用し、営業運転に使用されている。今後、コンバータの2レベル化の動きがますます加速すると期待される。

5. 冷却技術

パワーユニットの冷却方式には、大きく分けて、①自然冷却方式、②強制風冷方式、③水冷方式がある。ここでは、当社で採用している自然冷却技術及び強制風冷技術について紹介する。

5.1 自然冷却技術

主回路半導体素子の冷却方式は従来パーフルオロカーボン冷媒とした沸騰冷却方式が主流であったが、近年では、地球環境への影響を考慮し、これら化学物質を使わない冷却方式が必要となっている。そこで当社では、自然冷却方式の中でも、特に冷媒レス化、装置の小型化、信頼性の向上及びメンテナンス性の向上に着目し、走行風を利用した

アルミドライパネルフィンを開発し、パワーユニットへの適用を拡大してきた。この冷却方式を採用したパワーユニットは、おおむね次のような特長を持っている。

- 走行風を利用することによる冷却器の小型軽量化
- 冷媒レスによる信頼性の向上と環境への適合化
- リサイクル容易なオールアルミ素材による環境適合化

当社は、これらの特長を持ったアルミドライパネルフィンを車両側面に配置し、走行風利用自然冷却式パワーユニットとして1998年から適用し、既に多くの実績を持っている。車両側面の走行風利用自然冷却式のパワーユニットの一例を図4に示す。

また最近では、車両の走行騒音低減のため、床下の車両側面をスカートで覆いたいという要望が市場から出てきている。このニーズにこたえるため、新たに床下の走行風を利用したアルミドライパネルフィンを開発し製品への適用を開始した。

床下における走行風を利用する場合、

- 風量が少ない
- 走行風が他の機器と干渉しやすい
- 発熱体が上部にあり冷却効率が悪い

という課題がある。当社では、これまでの走行風利用により蓄積してきた多くのフィールドデータを基にした走行シミュレーションによるドライパネルフィンの最適化設計技術、主回路素子の最適配置設計技術、さらに艤装(ぎそう)メーカーとの機器配置検討によりこれらの課題を解決した。

図5に冷却器の温度解析例を、図6に走行シミュレーション例を示す。

5.2 強制風冷技術

機関車などの大容量の機種やコンパクト化が要求される場合のLRV(Light Rail Vehicle)向け推進制御装置、補助電源装置などでは、強制風冷方式が採用されることが多い。これらの場合でも、従来はパーフルオロカーボンなどの化学物質を用いた沸騰冷却方式が主流であったが、走行風利用冷却方式の開発、適用で培ってきた技術を同様に駆使し、当社では、強制風冷にも冷媒レスのアルミドライパネルフィンを採用し、環境への適合、リサイクル性の向上及び信頼性の向上を図っている。

6. む す び

当社における、HVIPMを適用した鉄道車両用パワーエレクトロニクス装置の最新技術について述べた。主回路半導体では、IGBTチップのますますの高耐圧化・低損失化により、今後、より多くの車両推進制御装置、補助電源装置において、3レベル変調方式から2レベル変調方式に置き換わっていくものと思われる。さらに、トレンチゲート型のIGBTや、次世代の主回路半導体として期待される

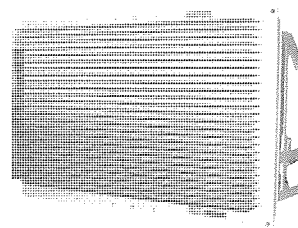


図4. 車両側面走行風利用パワーユニット

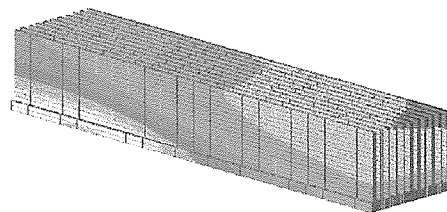


図5. 冷却器の温度解析例

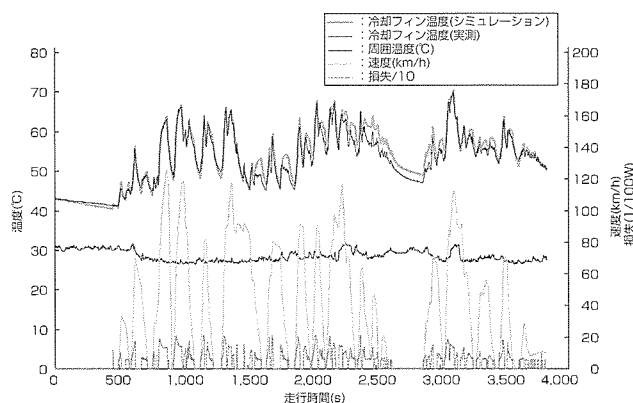


図6. 走行シミュレーション例

SiCデバイスなどの開発が進められており、将来的にますます小型化・軽量化の方向へ向かっている。

今後も、常に、これらの最新技術を積極的に取り入れた製品を展開するとともに、小型軽量、かつ高信頼性と環境適合性を追求していく所存である。

参考文献

- (1) 菊池高弘, ほか: 車載用パワエレ機器の現状と今後の展望, 三菱電機技報, 77, No.11, 723~726 (2003)
- (2) 河野雅樹, ほか: 鉄道車両用速度センサレスベクトル制御, 電気学会, 半導体電力変換研究会, SPC-02-10 (2001-2)
- (3) Tanaka, T., et al.: Inverter Control for Electric Trains Based on High-Voltage Intelligent Power Modules, Mitsubishi Electric ADVANCE, 89, 12~15 (2000-3)
- (4) 小尾秀夫: 最近の車両システム, 三菱電機技報, 77, No.11, 713~718 (2003)
- (5) Kawamoto, S., et al.: Application of High Voltage IPM in Propulsion Control of Rail Vehicles, Proc. of ISPSD'04, 155~158 (2004)

速度センサレスベクトル制御の実機適用

根来秀人*
北中英俊*
河野雅樹*

Sensorless Vector Control for Propulsion System of Rolling Stock

Hideto Negoro, Hidetoshi Kitanaka, Masaki Kohno

要 旨

近年、鉄道車両用誘導電動機駆動用インバータの制御方式として、速度センサレスベクトル制御方式を採用した車両の営業投入が増加している。この制御方式は、電動機電流・電圧から電動機回転速度を演算して制御に用いることで電動機軸端に設置される速度センサ(PG(Pulse Generator)センサ)を必要としない制御方式である。この制御方式により、電動機の小型・軽量化、又は電動機容量の増加に充てることが可能となる。また、メンテナンス、信頼性の観点からは、PGセンサの保守点検作業が削減できるほか、PGセンサの故障に伴うシステムダウンを未然に防ぐことができる。さらに、PGセンサ用車体臓装(ぎそう)配線が削減できるなどのメリットがある。

速度センサレスベクトル制御は、一般産業用途では広く実用化されているが、鉄道車両用途では、車両だ行時や停止時のインバータ停止・起動の繰り返し、架線電圧の急変や車輪の空転・滑走時の制御安定性の確保及び高速域での1パルスモード駆動など、鉄道車両用途特有の仕様があるために適用が遅れていた。三菱電機では、早期にこれらの技術的課題を解決し、鉄道車両用速度センサレスベクトル制御システムを開発した。この制御方式の実車両への導入に当たって、鉄道車両用として特に重要な速度情報の信頼性・冗長性を更に高めた構成としている。

本稿では、当社の鉄道車両用速度センサレスベクトル制御システムと、実車両への適用事例について述べる。

特集
II



名古屋鉄道(株)2000系
空港特急車

新京成電鉄(株)8800形

小田急電鉄(株)3000形3次車

VVVFインバータ装置

東京地下鉄(株)6000系

速度センサレスベクトル制御適用車両

鉄道車両駆動用主電動機が直流電動機からインバータ駆動の誘導電動機に変わっておおよそ20年が経過し、速度センサレスベクトル制御適用車両が走り始めた。これにより、鉄道車両推進制御システムは更に理想形に近づいた。上図は速度センサレスベクトル制御を適用した車両と、それを実現するVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ装置の一例である。

1. ま え が き

鉄道車両駆動用主電動機が直流電動機からインバータ駆動の交流電動機(誘導電動機)に変わっておおよそ20年が経過した。主電動機の交流化により直流機では不可欠であったブラシ、整流子周りのメンテナンスが不要となり大幅な省メンテナンス化が実現できたが、その制御には電動機のロータ回転周波数が必要であり、電動機ごとに速度センサ(PGセンサ)を必要とした。電動機制御システムがV/F(電圧/周波数比)一定制御からベクトル制御へと進化した昨今においても、PGセンサのメンテナンスが依然として残っていた。また、堅牢(けんろう)な誘導電動機に比較し、電子部品で構成されるPGセンサはシステムの信頼性を更に向上させる上でのネックともなっていた。

当社では、誘導電動機を用いた鉄道車両推進制御システムの信頼性を更に高めるために、PGセンサを必要としない速度センサレスベクトル制御方式を開発した⁽¹⁾。

本稿では、鉄道車両用速度センサレスベクトル制御システムと、実車両への適用事例について述べる。

2. 鉄道車両用速度センサレスベクトル制御

2.1 導入の目的

速度センサレスベクトル制御を鉄道車両駆動システムに適用する場合、以下の効果が期待できる。

(1) 主電動機の出力向上/小型化・軽量化

鉄道車両用途では台車の車輪間の限られたスペースに大容量の電動機の搭載が必要であるが、PGセンサ分のスペースが削減できるために、電動機の小型化、又は同一スペースではPGセンサの容積分を電動機容量の増加に充てることが可能となる。

(2) システムの信頼性の向上

PGセンサは誘導電動機の軸端に取り付けられており、電子部品で構成されるため粉塵(ふんじん)などが原因で故障することもあり、さらに、信号線の断線のおそれもある。速度センサレスベクトル制御の適用により信号線の配線を削減でき、故障に起因するシステムダウンを未然に防ぐことができる。

(3) 保守費用の低減

直流電動機に比べ、誘導電動機はブラシ・整流子がないために大幅な保守低減が図られたが、代わりに必要となったPGセンサの機能検査などの保守作業が依然として残っている。速度センサレスベクトル制御を適用することにより、これらの保守・交換作業などが解消され、保守コストの低減が可能になる。

2.2 鉄道車両システムへの適用時の課題

速度センサレスベクトル制御の実用化に当たり、鉄道車両システム特有の課題として特に以下の点がある。

(1) だ行時からの再起動

速度センサレスベクトル制御では、電動機電圧と電動機電流を用いて電動機のロータ回転周波数を演算推定するため、インバータ動作が停止していると速度情報を得ることができない。鉄道車両では、インバータの損失低減の目的から、だ行時にはインバータを停止させるため、再力行、ブレーキ時のインバータ再起動時にはトルクショックを避けるために推定速度を速やかに実速度に一致させる必要がある。このため、インバータ再起動時の初期速度推定動作が重要となる。

(2) 空転再粘着制御性能

鉄道車両では、1台のインバータで複数の電動機を駆動する方式が一般的である。このため、複数台の電動機を1台の電動機に見立てて制御を実施し、得られる速度推定値は各電動機の平均速度に相当するものとなる。このため、各電動機にPGセンサを持つ従来システムのように個々の電動機ロータ回転周波数を用いて空転/滑走を検出することができない。そのため、速度センサレスベクトル制御適用に当たっては、空転粘着制御性能の評価が非常に重要になる。

(3) 純電気ブレーキ(停止電気ブレーキ)への対応

近年、鉄道車両では、回生率や乗り心地の向上、ブレーキシューの磨耗・騒音低減を目的として、車両停止まで回生ブレーキを使用する純電気ブレーキが多く適用されている。速度センサレスベクトル制御では、このような低速域において、主回路素子のデットタイムや電動機定数の設定値の誤差の影響が大きくなるため、速度推定誤差が発生しやすく、安定な運転を阻害する可能性もある。このため、速度センサレスベクトル制御を適用する場合には、低速域における速度推定精度を向上させ、従来システムと同等以上の性能を持たせることが重要である。

2.3 制御システム基本構成

速度センサレスベクトル制御の構成を図1に示す。PG

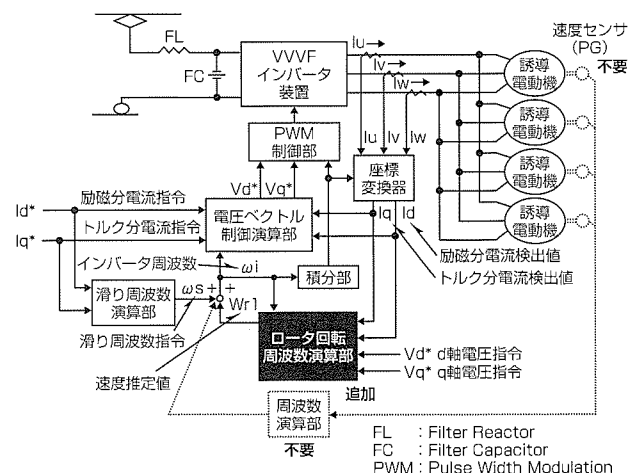


図1. 速度センサレスベクトル制御システムの構成

センサ信号からロータ回転周波数を演算する処理の代わりに速度推定器を適用した以外は基本的に従来のベクトル制御システムと同一であり、制御ソフトウェアの変更のみで対応できる。また、この方式は1kHz以上の高いスイッチング周波数で駆動するIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)、IPM(Intelligent Power Module)を使用したVVVFインバータ装置だけでなく、スイッチング周波数が300~500Hz程度のGTO(Gate Turn Off Thyristor)を使用した装置にも適用可能である。

図2にロータ回転周波数演算部を示す。産業用途で実績のある適応磁束オブザーバをベースに鉄道車両向けに改良を加えたシステムを採用しているため、低速域においても安定動作が可能である。ロータ回転周波数演算部で実施している速度推定の基本原理は、誘導電動機の等価回路モデルから推定した電流と電動機電流検出値との誤差が零になるように、ロータ回転周波数(速度推定値)を推定するものである。また、鉄道車両ではだ行中にインバータを停止させるので、だ行中は入力信号である電動機電流・電圧が零になるため、ロータ回転周波数の推定ができない。そのため、起動直後に初期速度推定部により速度推定を行う。初期速度推定方法としては、直流励磁時の誘導電動機固有の電流振動特性を利用し、電流振動を電流制御ループで増幅させて、電流振動周波数からロータ回転周波数を得る方法を採用している。

2.4 外部速度情報の補助的な利用による信頼性の向上

一般に、鉄道車両においては、速度計やATS(Automatic Train Stop)装置等保安機器に使用する速度情報を得るために、台車軸端に車速センサを備えている。これは、速度センサレスベクトル制御車においても同様である。速度センサレスベクトル制御車においても、このような外部速度情報を補助的に使用することで後述のとおり既存の速度センサ付き制御車との車両取り扱い上の差異を解消するとともに、システムの冗長性・信頼性を高めることが可能となる。図3に車速センサ検出速度の使用方法を示す。なお、近年は、TIMS(Train Information Management System)に代表されるような列車情報管理装置から高信頼の車速情報を伝送により容易に得ることが可能であり、この場合には、車速センサから直接インバータ装置へ配線する必要は

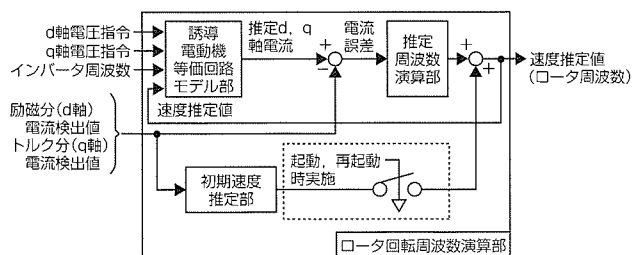


図2. ロータ回転周波数演算部の基本構成

なくなる。

(1) 速度情報の信頼性向上

速度推定値は電動機のベクトル制御部以外に各種シーケンス制御、保護処理にも使用されており、その信頼性を高めることは重要である。このため、万が一速度推定値が異常となった場合を考慮し、速度推定器から推定したロータ回転周波数が車速センサから得た検出速度に対して大きく逸脱することがないように監視することで速度情報の信頼性をより高めるシステムとしている。なお、車速センサからの信号に異常があると判断した場合は速度推定器で推定したロータ回転周波数のみを使用して完全なセンサレス状態でシステム動作を継続する構成として、冗長性の向上を実現している。

(2) 車両停止時のインバータ動作の回避

上述のとおり、だ行時、停止時にはインバータを停止するためロータ回転周波数が得られない。このため、車両停止時にブレーキ操作を行った場合、回生ブレーキ動作可能な速度であるかを判断するためにいったんインバータを起動し、初期速度推定を実施することになる。このため、短時間ではあるが車両停止中に主回路路に通電することになる。これは既存の速度センサ付き制御車にはない動作であり、取り扱い上の差異が生じる。そこで、車速センサからの速度情報を補助的に用い、停止検知に利用することで上記の問題を解消することが可能となる。

(3) 定速運転機能への対応

車両速度を一定に制御する定速運転制御では、実速度と設定速度の差によって力行・だ行・回生ブレーキモードを切り換えて一定の速度を保持して走行する構成としている。速度センサレスベクトル制御システムでは、だ行運転でのインバータ停止時には車両速度が得られないために、定速運転制御が困難となる。だ行時においてもインバータを停止せずに常時ロータ回転周波数を取得する方法もあるが、だ行中は車速センサからの速度情報を用いることで、従来システムと同等の定速運転制御が可能となる。

3. 現車試験結果

現車試験結果の一例として、新京成電鉄(株)の8800形車両(4M4T構成、GTO使用VVVFインバータ搭載)に速度センサレスベクトル制御を適用した場合の現車試験結果について述べる。

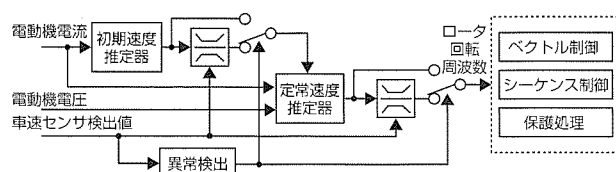


図3. 外部速度情報(車速センサ)の使用方法

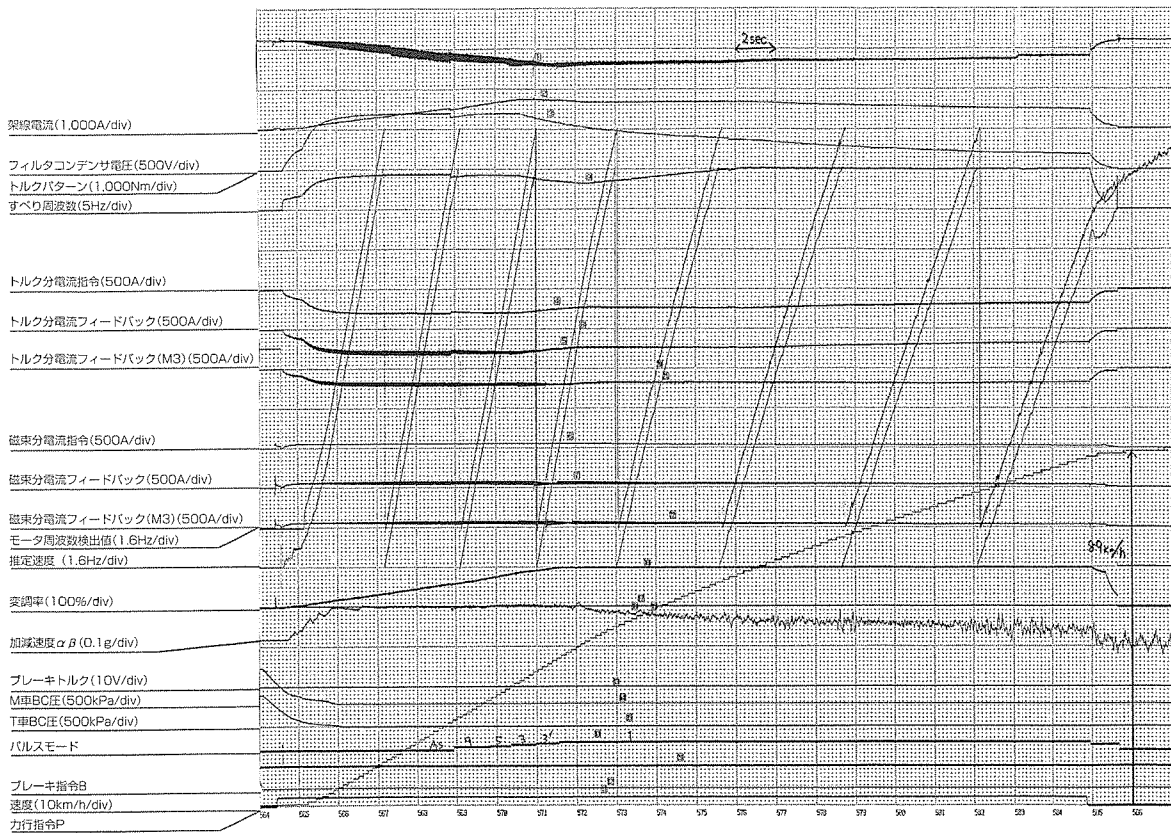


図4. 定常力行運転波形

3.1 基本性能

図4に定常力行運転時のチャートを示す。比較のために、既設のPGセンサからの速度も出力している。定常状態の速度推定誤差は約0.1km/h以下であり、起動から鉄道車両特有の高速域の1パルス弱め界磁領域まで安定に制御可能であることを確認した。また、乗り心地及び加速性能は、空車時と満車時いずれの場合においても従来の速度センサ付き制御車と同等であることを確認した。

3.2 初期速度推定の精度

実速度に対する初期速度推定結果の平均誤差は約0.30km/hであり、安定な初期速度推定動作を確認した。

3.3 空転再粘着制御性能

速度センサレスベクトル制御適用車で18%以上の粘着係数が得られ、速度センサ付き制御車とほぼ同等の空転再粘着制御性能を持つことを確認した。また、速度推定値も真値に安定して追従していることを確認した。

3.4 純電気ブレーキへの対応

速度0km/hまで安定に速度推定を行うことができ、乗り心地についても速度センサ付き制御車と同等であることを確認した。

4. むすび

速度センサレスベクトル制御システムの概要と、実車両

表1. 速度センサレスベクトル制御適用車種
(2004年8月現在、営業開始順)

車種	編成	制御単位	使用素子	営業開始
新京成電鉄(株) 8800形	4M4T	1C4M	GTO	2003-3
東京地下鉄(株) 6000系・7000系	5M5T	1C4M	IPM	2004-2
小田急電鉄(株) 3000形3次車 8000形更新車	3M3T 4M4T	1C4M	IPM	2004-2
名古屋鉄道(株) 2000系空港特急車	1M2T	1C3M	IPM	2005 (予定)

への適用に当たっての信頼性、冗長性、車両の取り扱い性をより向上させるシステム構築事例を紹介した。

当社速度センサレスベクトル制御システムが採用された車両を表1に示す。多くが営業運転に投入され活躍中である。また、今後の新規案件についても、順次適用車両を増やしていく予定であり、鉄道車両推進制御システムの高信頼化、省メンテナンス化を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 久富浩平, ほか: 速度センサレス制御の技術, 鉄道車両と技術, No.81, 17~24 (2003-1)

全閉主電動機の製品化適用技術

兼井延浩*
堀内清史*
羽下誠司**

Technologies Applied to the Productization of Totally-Enclosed Type Traction Motor

Nobuhiro Kanei, Kiyoshi Horiuchi, Seiji Haga

要旨

これまで、鉄道車両用の主電動機は、限られたスペースに大容量の電動機を搭載する必要があり、冷却効率を高めるために電動機内に外気を冷却風として導入する開放通風方式が主流であり、新幹線等は外部ブロワーを車体側に設けた強制通風式で、通勤・近郊形車は電動機内にファンを設けた自己通風式が一般的になっている。しかし、車両の床下に搭載されることから外部環境は劣悪であり、雨水や塵埃(じんあい)を含んだ外気を導入しているため、吸気カバーのフィルタ清掃や、電動機内部の定期的な清掃保守が必要となっていた。

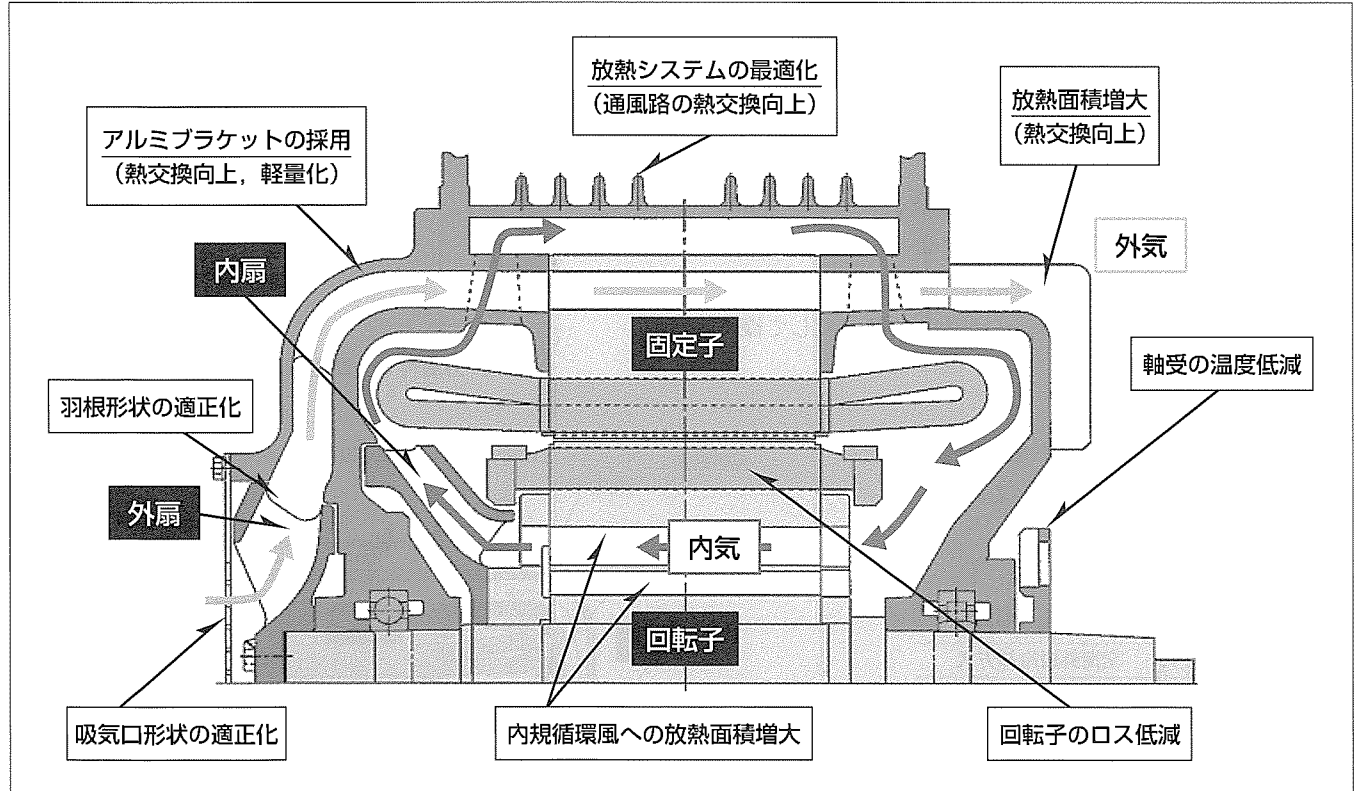
主電動機は直流機から交流機になり、日常の保守は大幅に省保守化が図られたが、更なる省保守化のニーズに対応するために全閉型主電動機の開発を進めてきた。ここで、全閉型主電動機の冷却方式には内気循環のみで冷却する内

扇式と、内気循環に加え内気と分離した外気による冷却を行う外扇付き全閉主電動機の方式があるが、狭軌車両にも適用できるようにするために、冷却効率の優れた外扇付き全閉主電動機を開発を進めてきた。

本稿では、外扇付き全閉主電動機の製品化に対する適用技術について述べる。

構造については、外扇による風切り音を低減するため、外扇の羽根形状及び外扇風量の適正化により低騒音化を図り、さらに、内気循環風の冷却効率を高めた構造とした。また、回転子側については、発熱量を低減して高効率化を行った結果、狭軌用のスペースで180kW級の電動機が製作可能となり、騒音レベルも5,000r/min時(110km/h相当)に90dbA以下を実現し、従来の開放型に比べ5dBA程度の低騒音化が図られた。

特集 II



外扇付き全閉主電動機の冷却構造

最近の駆動システムの省保守化、及び低騒音化の要求に対して開発した外扇付き全閉主電動機の構造について断面図に示す。検証試験結果により、これまでの開放型に比べて、騒音レベルを5,000r/min時(110km/h相当)で5dBA低減でき、2%の高効率化が実現できた。なお、この外扇付き全閉主電動機は、狭軌用鉄道車両のスペースにも適用される。

1. ま え が き

最近の鉄道車両用駆動システムには車両の高速化、主電動機の高出力化に伴う高トルク／高速回転性能が求められており、さらに、省保守化の追求及び車内外騒音の低減などに対応して、主電動機の全閉化が要求されている。三菱電機では、これらのニーズにこたえるため、狭軌用鉄道車両のスペースにも大容量の主電動機が搭載できるように外扇付き全閉主電動機の製品化を進めてきたが、今回、180kW級の製品化が完成した。

本稿では、完成した外扇付き全閉主電動機の諸元と構造及び単体での性能試験結果について述べる。

2. 設 計 諸 元

今回の外扇付き全閉主電動機の開発は前提条件として狭軌用鉄道車両にも搭載可能としたものであり、主電動機の諸元を表1に示す。

3. 外扇付き全閉主電動機の構造

表1の諸元を基に設計・製作した外扇付き全閉主電動機の外観写真を図1に、断面図を図2に示す。

全閉化に伴い、従来の開放型と比べると、放熱能力が落ちるため、回転子は発熱量を抑えた電気設計とし、さらに、内気循環風の冷却効率を高めた構造とした。また、固定子側は内気と分離した外気を導入し、熱交換率を高めた冷却構造とすることにより小型軽量化を図った。

3.1 冷却構造

3.1.1 外扇付き構造

外扇によりモータ外周部に内気循環路とは分離して構成された通風路に外気を導入することにより、固定子鉄心を冷却するとともに、内扇により内気を循環させ、回転子及び固定子で発生した熱を取り込んだ内気と熱交換して機外へ放熱する構造である。

3.1.2 熱交換向上構造

内気循環風からの熱交換率を向上させるために以下に述べる構造としている。

(1) 回転子風穴断面積の拡大

回転子から内気循環風への放熱面積を増やして放熱量を増加させるとともに、風穴の断面積を拡大することにより内気の通風ロスの低減を図っている。

(2) 反駆動側エンドブラケットのアルミ合金化

内気循環風からの移動熱量を機外へ放熱促進するために、熱伝導率の高いアルミニウム合金を採用した。

(3) 内気循環通風路及び駆動側軸受箱にフィンの取付け

外気への放熱面積を増加させるためにフィンを取り付けることにより、内気の冷却効率を向上させた。また、このフィンは、車両への搭載状態を考慮して、車両の走行風を有効活用できるような方向に取り付けている。

(4) 駆動側軸受からの放熱促進構造

駆動側軸受については、機外への放熱面積を増やすため、駆動側軸端へ放熱円盤を取り付けることにより、冷却効率を高めた構造としている。

3.2 回転子のロス低減

回転子については、外気で直接冷却できないことから発

特集
II

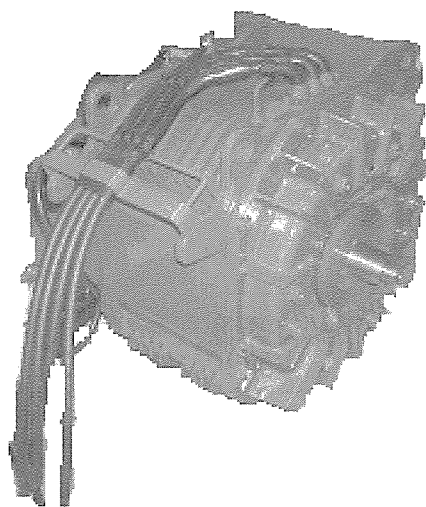


図1. 外扇付き全閉主電動機の外観写真

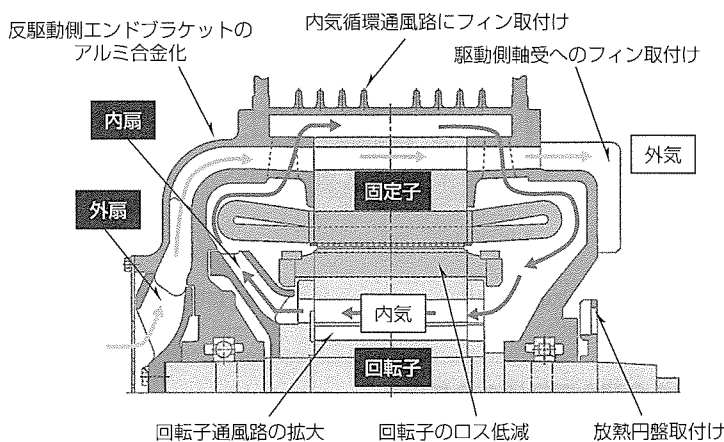


図2. 外扇付き全閉主電動機の断面図

表1. 主電動機諸元

主電動機方式	誘導電動機方式	
冷却方式	全閉外扇冷却方式	
定格	1時間	連続
出力	180kW	130kW
電圧	1,100V	1,100V
電流	122A	90A
回転数	2,365r/min	2,375r/min
周波数	80Hz	80Hz
すべり	1.5%	1.0%
質量	600kg	

熱量を抑えた電気設計としており、回転子バー材には低抵抗率材を採用して発熱量を低減し、回転子溝形状の最適化により鉄損の低減を図っている。これらにより、回転子発熱量の低減とロス低減により主電動機の効率を向上させた。

3.3 騒音低減構造

高速回転時に騒音が大きくなる傾向にあるが、これは、外扇の起こす風切り音が主体であることから、低減のために、図3に示すように、外扇の羽根形状適正化とともに、外気通風路の乱流を抑制するような構造とすることにより低騒音化を図っている。さらに、前述の熱交換率を高めた通風路構造とすることにより、外扇風量を減らして低騒音化を図った。

4. 単体での試験結果

4.1 温度上昇試験結果

今回開発した外扇付き全閉主電動機の連続定格における温度上昇試験結果を表2に示す。なお、試験条件としては、模擬走行風2m/sを主電動機外表面に当てて実施した。表から、温度上昇値は規格値以内であり、問題ないことを確認した。したがって、連続定格出力130kW(1時間定格出

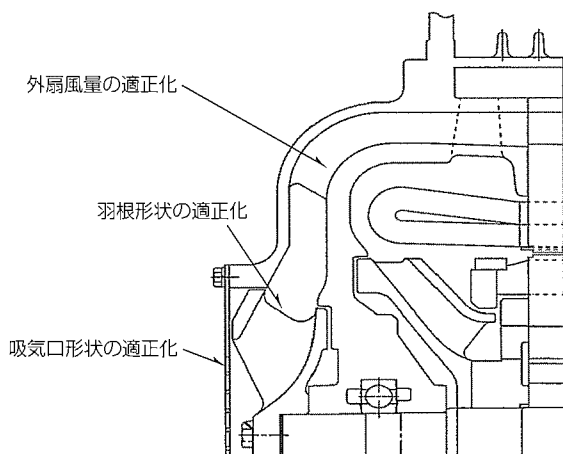


図3. 騒音低減構造

表2. 温度上昇試験結果(インバータ駆動, 走行風2m/s)

	定格	連続	
	出力	130kW	
	電圧	1,100V	
	電流	90A	
	周波数	80Hz	
	効率	94%	温度上昇 限度値
	力率	80.5%	
温度 上昇 値	固定子コイル (抵抗法)	139K	190K
	回転子	164K	-
	駆動側軸受	42K	55K
	反駆動側軸受	39K	55K
	フレーム上部	80K	-

力180kW相当)の構成が可能であることが確認できた。また、実測効率が94%になっており、これまでの開放型の92%より2%高く、回転子のロス低減により高効率化が実現されたことを確認した。

4.2 騒音試験結果

今回開発した外扇付き全閉主電動機とこれまでの開放型主電動機の単体での騒音試験結果の比較を表3に示す。なお、試験結果については、無負荷回転での主電動機表面から1m離れた位置の各方向の騒音値を平均した結果であり、測定は、JIS E 6102の試験方法に基づいて実施している。

表から、騒音レベルについては、車両速度が110km/h相当の5,000r/minにおいて90dBAを下回り、従来の開放型に比べ、5dBA程度の低騒音化が図られたことが分かる。

5. 熱解析手法の確立

3.1節で述べた冷却構造については熱解析を用いて最適化を行ってきており、その解析精度は、複数機種を試作することにより試験結果との合わせ込みを行うことで向上させた。解析モデルを図4に、解析結果と試験結果の比較を表4に示す。表から、解析結果の精度としては、試験結果の±10%以内であることが確認できる。

この手法により、車両諸元及び主電動機諸元の変更に伴う発熱分布/風量の差違、並びに構造の最適化に対応した外扇付き全閉主電動機の熱解析手法を確立できた。

6. むすび

最近の駆動システムの省保守化及び低騒音化の要求に対して外扇付き全閉主電動機の製品化を行い、以下の事項を確認した。

- (1) 外扇付き全閉主電動機の回転子ロス低減により、これまでの開放型に比べて、2%の高効率化が実現できた。
- (2) 外扇付き全閉主電動機の質量については、180kW級

表3. 騒音測定結果

回転数 (r/min)	外扇付き全閉 主電動機	開放型 主電動機
2,375r/min (連続定格時)	74.2dBA	77.0dBA
5,000r/min (110km/h相当)	89.6dBA	94.8dBA

表4. 解析結果と試験結果の比較

		解析結果	試験結果
温度 上昇 値	固定子 (抵抗法)	136K	139K
	回転子	169K	164K

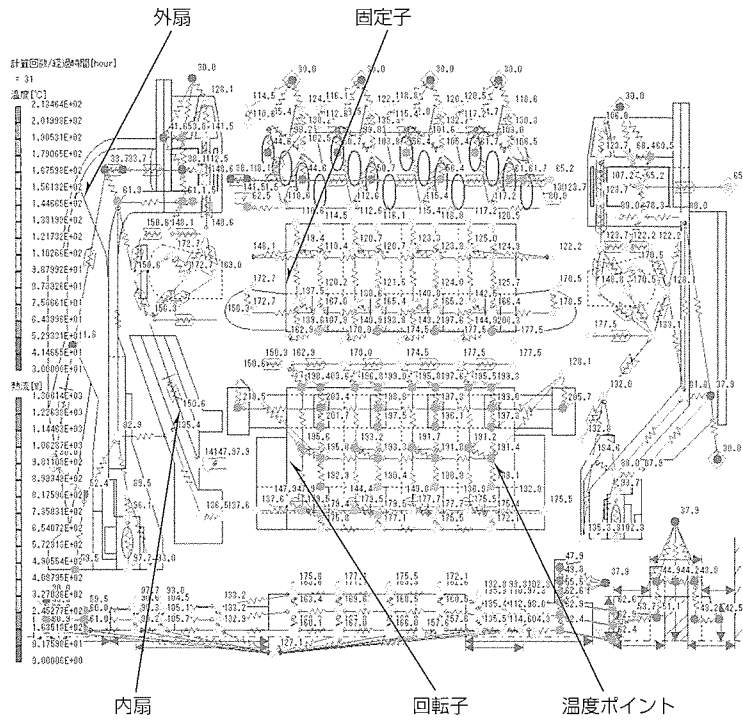


図4. 外扇付き全閉主電動機の熱解析モデル

で600kgを実現できた。

- (3) 外扇付き全閉主電動機の3.1節で述べた冷却構造を採用することにより、狭軌用鉄道車両の艤装(ぎそう)スペースにも180kW級の電動機の搭載が可能となった。
 - (4) 車両速度が110km/h相当の5,000r/minにおける主電動機騒音は90dBAを下回り、従来の開放型に比べ5dBA程度の低騒音化が図られた。
 - (5) 外扇付き全閉主電動機について、熱解析手法の確立ができた。
- また、オプションとしては、軸受の油潤滑方式にも対応

している。

今後、車両の高性能化に伴う機器の小型軽量化、及び客室空間の快適化に対応した低騒音化、並びに省保守化のニーズに対応するための、全閉型主電動機への要求はますます増えるものと考えられ、ニーズに合った改良活動を行っていく予定である。

参考文献

- (1) 菊池高弘, ほか: 車載用パワエレ機器の現状と今後の展望, 三菱電機技報, 77, No.11, 724~726 (2003)

集約形の列車保安車上装置

Integrated on-board Automatic Train Protection

Masami Tobioka, Kazuhiro Tahara, Kenji Inomata

要旨

近年、列車保安装置もデジタル化が進み、車上主体制御のデジタルATC(Automatic Train Control)を始めとして高性能化とともに、低価格化・小型化・軽量化が要求されると同時に、メンテナンスの省力化を目的としたモニタ機能や車上自動試験機能を持った装置が主流を占めるようになってきている。

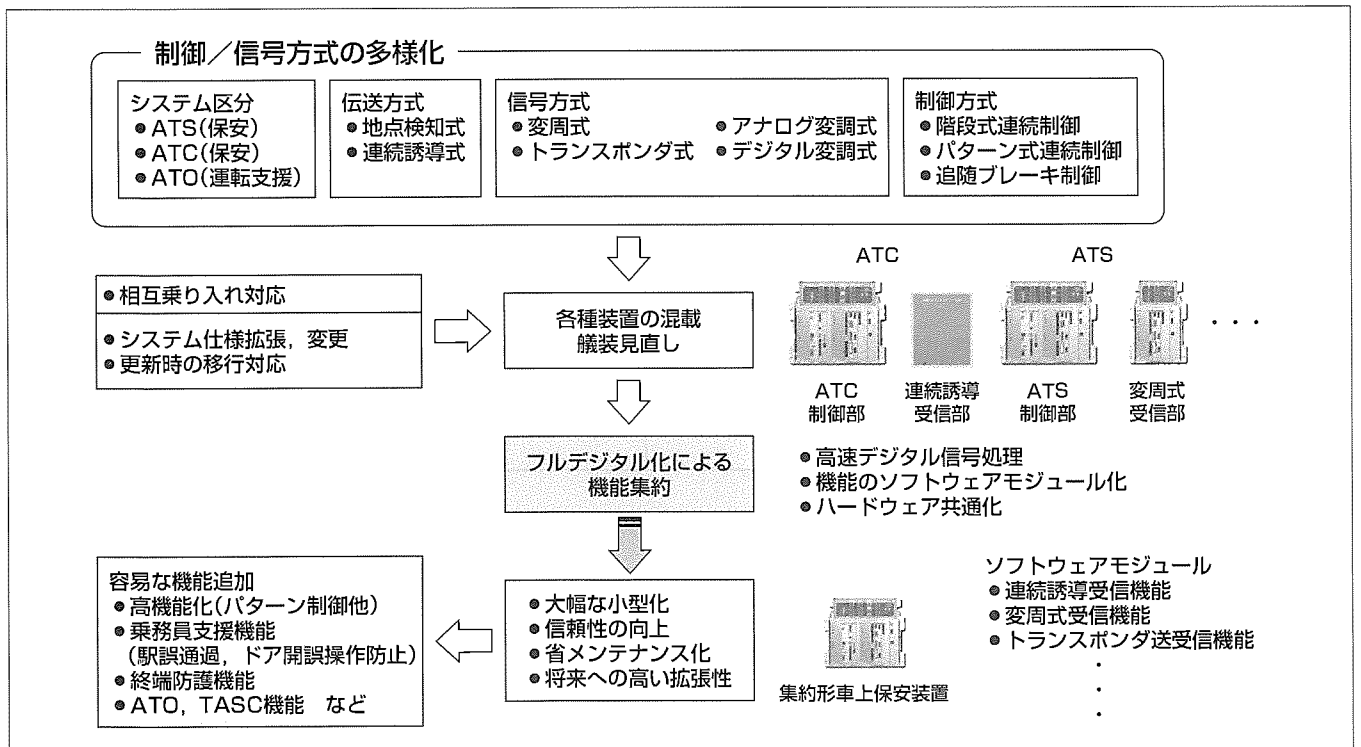
一方、異なる信号保安システムの鉄道会社間の相互乗り入れも、首都圏を中心に盛んに行われている。また、保安装置の更新時には高性能化・高機能化のニーズが強くなっている。

三菱電機では、異なる信号方式の保安システム(点制御の変周式ATS(Automatic Train Stop)、トランスポンダ式ATS-P及び連続式ATS、ATC並びにデジタルATC等)に対応可能な集約形の列車保安車上装置の製品化を行っている。

車上パターン方式による車上主体形デジタルATC装置等の場合は、従来、距離補正用にトランスポンダ装置を個別に搭載していた。また、変周式ATSと連続式ATCの異なる保安システム区間を相互乗り入れの列車にはATS装置とATC装置をそれぞれ個別に搭載していたが、この集約形の列車保安車上装置によりこの装置1台で対応可能となる。

なお、従来の変周式ATS装置やATC装置を車上パターン方式へ高機能化したりATO(Automatic Train Operation)装置やTASC(Train Automatic Stop Control)装置を追加搭載する場合に、地点補正や停止位置検知用に使用するトランスポンダ車上装置が個別に搭載不要となる。また、駅誤通過防止やドア開誤操作防止等の乗務員支援機能も個別の装置が不要となり、この保安装置でこれらの乗務員支援機能を追加する場合も柔軟に対応可能となる。

特集 II



列車保安車上装置の集約化コンセプト

列車保安車上装置は信号／制御方式の多様化及び高機能化が進み、従来のハードウェア構成では小型化が困難であった。信号、制御の機能をフルデジタル化し、異なる受信機能や制御機能をソフトウェアで切り換えることにより、大幅な小型化と信頼性の向上を図っている。

1. ま え が き

当社の列車保安車上装置の歴史は古く、1961年に当時の帝都高速度交通営団日比谷線にATC論理装置を納入して以来、今日のデジタルATCに至るまで、豊富な実績を積んできている。1960年代当時はトランジスタの時代で、制御演算素子として主にトランジスタを採用したアナログ演算回路で構成されていた。1970年代に入り、ICの普及とともに、ICを使用したデジタル演算方式が採用されるようになり、小型化と信頼性の向上を目的に保安装置用の速度照査専用LSIが開発された。

その後、マイクロエレクトロニクス技術の進歩とその応用により、フェールセーフマイクロコンピュータ(デュアルコンピュータ方式)が実用化され、保安装置の機能は大きく向上した。使用するマイクロプロセッサも8ビットCPUから現在では32ビットCPUへと向上し、信号判別処理においても、高速デジタル演算回路の採用により、制御の高機能化と高速化が図られている。

一方、列車保安システムも、信号方式により、変周式やトランスポンダ式の点制御の階段制御方式ATS装置、及びアナログ波の連続式階段制御方式ATS、ATC装置、さらに、近年は、デジタル波によるATC装置が採用されている。また、制御方式も、地上主体の階段制御方式から車

上主体の車上パターン1段ブレーキATCに至るまで多くの方式が採用されている。これまでは、地上信号方式や制御方式が異なる区間を相互運転する列車には、それぞれ異なる方式の保安装置が搭載されてきた。

本稿では、これらの異なる信号方式や制御方式の保安システムに対応し、さらに、乗務員支援機能等を付加可能な集約形の列車保安車上装置について述べる。

2章では現状対応可能な列車保安装置の種別と信号保安機能以外の付加機能を、3章では集約形のフルデジタル列車保安車上装置について述べる。

2. 列車保安装置の種別と付加機能

2.1 ATS装置

地点検知式(変周式、トランスポンダ式)及び連続誘導式に対応しており、表1にその概要を示す。

2.2 ATC装置

連続誘導式のAM(Amplitude Modulation)変調アナログ信号及びデジタル符号信号に対応しており、表2にその概要を示す。

2.3 付 加 機 能

従来の信号保安機能以外に、乗り心地改善、表定速度の向上を図った緩和ブレーキ付きパターン制御、又は多段のブレーキ指令出力を持つパターン追随制御機能を付加した

表1. ATSの信号/制御方式

伝送方式	信号方式	信号仕様	ブレーキ制御方式	制御内容
地点検知式	変周式	常時発振周波数：80~100kHz 変周周波数：90~130kHz (任意設定可)	階段式連続制御 パターン制御式連続制御	ATS速度制限信号に応じて制御する ATS速度制限信号に応じて定められた制限速度パターンを車上で発生させる
	トランスポンダ式 (符号伝送)	①従来版 FSK変調(1.708~3 MHz帯) 伝送速度：64kbps ②高速版 BPSK変調(250MHz帯) 伝送速度：1 Mbps 電力波周波数：80~275kHz	パターン制御式連続制御	停止位置までの1段パターン、及び制限速度区間に対するパターンを車上で発生させる
連続誘導式	アナログ変調式	AM変調(正弦波又は方形波) 搬送波周波数：1.5~3.0kHz 変調周波数：10~200Hz	階段式連続制御	軌道回路からのAM波を復調し、信号判別した信号に応じて制御する
			パターン制御式連続制御	ATS速度制限信号に応じて定められた制限速度パターンを車上で発生させる

表2. ATCの信号/制御方式

伝送方式	信号方式	信号仕様	ブレーキ制御方式	制御内容
連続誘導式	アナログ変調式	AM変調 搬送波周波数：1.9~20kHz 変調周波数：10~200Hz	階段式連続制御	ATC速度制限信号に応じて制御する
		AM変調、多周波(主副)組合せ 搬送波周波数：1.9~20kHz 変調周波数：10~200Hz	パターン制御式連続制御	多現示のATC速度制限信号に応じて定められた制限速度パターンを車上で発生させる
	デジタル変調式 (符号伝送)	MSK変調又はSS変調 搬送波周波数：~20kHz帯 伝送速度：300bps	パターン付き1段ブレーキ制御	停止位置までの1段パターン、及び制限速度区間に対するパターンを車上で発生させる

装置も採用されている。

なお、そのほか、付加機能として、特にハードウェアを大きく追加することなく、① 駅誤通過防止機能、② 駅行き過ぎ防止機能、③ ドア開誤操作防止等の乗務員支援機能を簡単に持たせることが可能である。

そのほか、保守の省力化として、モニタ機能は当然のこと、最近の列車では、車上自動試験機能をつかさどる検査記録部を搭載し、車両制御情報管理装置や列車モニタで故障情報や試験結果を一元管理するやり方が主流になってきている。

3. 集約形フルデジタル列車保安車上装置

3.1 構成と特長

この装置の全体構成を図1に示す。大別すると、地点検知式又は連続誘導式のATS信号、ATC信号を受信するアンテナ、復調処理により信号判別する受信部、速度発電機から検出する走行速度と受信信号からブレーキ指令を行う制御部、運転台条件の取り込みや入出力リレー制御など外部インターフェースをとる入出力部、車上試験や動作状態の監視を行う検査記録部等より構成される。

従来、受信部では復調・信号判別処理をアナログ回路主体で構成していたため、異なる信号システムごとに専用の受信部や制御部を搭載していた。ATSとATC区間の相互乗り入れ車両には個々の車上装置を搭載して対応しており、受信部と制御部間の伝送用ハードウェアや検査記録部も含めると大規模な構成となっていた。

当社の最近の車上装置は、高速デジタル演算回路(DSP(Digital Signal Processor)又はFPGA(Field Programmable Gate Array))を適用し、特に、アナログ回路主体で行っていた受信処理の大部分をデジタル信号処理によってデ

ジタル化した。デジタル化による部品点数の削減とハードウェアの共用化により受信部と制御部の集約を推進し、50%以上の大幅な小型化を実現している。

フルデジタル処理はソフトウェア演算処理であり、各種信号方式に対応したソフトウェアモジュールを組み込むことで様々な受信機能を備えることができる。アンテナとのインターフェース回路を除いて、各種方式の受信部は同一のハードウェア上に実装できるため、乗り入れ境界でダイナミックにソフトウェア処理ルーチンを切り換えて、受信機能を切り換えることもできる。

機能をソフトウェア(ロジック)で組み合わせることにより様々な受信機能に対応することができる実施例を以下に示す。

3.2 ATS受信部

地点検知式受信部として変周式ATS信号、トランスポンダ式ATS信号に対応する。トランスポンダ式には地上子からの受信機能だけでなく、車上から有電源地上子への送信機能、無電源地上子への電力波送信機能なども必要であるが、これらの信号処理機能もすべてソフトウェアで実装した。

(1) 変周式受信部

従来は車上子アンテナコイルと受信部の増幅回路でフィードバック発振回路を構成していたが、増幅回路の伝達特性をデジタル演算回路の伝達関数で等価に置き換えるとともに、信号判別処理も変周周波数ごとに設けたデジタルフィルタアレーで行う。

フルデジタル化によって、従来よりも優れた常時発振安定性や応動特性を得ている。

(2) トランスポンダ式送受信部

従来のトランスポンダと互換性をとった送受信器として、

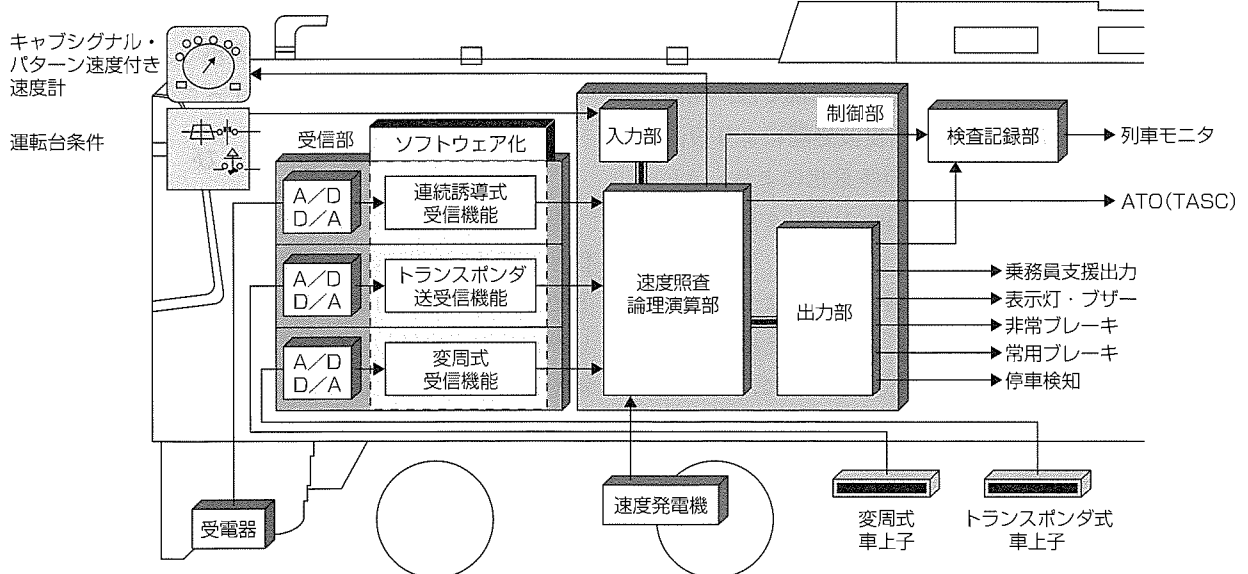


図1. 集約形フルデジタル列車保安車上装置の構成

電圧制御発振による位相連続FSK(Frequency Shift Keying)変調処理, PLL(Phase-Locked Loop)同期検波による復調処理, ダイレクトデジタルシンセサイザ方式による電力波生成処理をソフトウェアで実装した。

これにより, 送信周波数3.0MHz, 受信周波数1.708MHz, 電力波周波数245~275kHzにおいて64kbpsのデジタル符号伝送が可能である。

さらに, 当社は, 伝送レートを1Mbpsに高速化した高速データ通信対応トランスポンダ送受信部も開発した。このトランスポンダは現在急速に発展している無線ICタグのRFID(Radio Frequency Identification)技術を適応したもので, BPSK(Binary-Phase Shift Keying)変調により高速データ通信を行うことが可能である。

3.3 ATC受信部

連続誘導式受信部としてアナログ波及びデジタル波に柔軟に対応することが可能である。

(1) アナログ波受信部

アナログ波の各種変調方式(振幅変調, 周波数変調等)に加えて, 複数の搬送波を組み合わせた多現示方式にも対応している。搬送波選別はデジタルフィルタアレー, 復調処理は非同調検波又はPLLによる同期検波を信号特性に応じて適用する。

高安定に受信するため搬送波フィルタは隣接周波に対して40dB以上抑圧するデジタルフィルタを適用している。

(2) デジタル波受信部

デジタル波については, 狭帯域のMSK(Minimum Shift Keying)変調方式やスペクトラム拡散(SS)変調方式等に対応することができる。

MSK変調では直交同期検波処理を適用し, 在来線で5kHz近傍の帯域を使って300bpsのデジタル符号伝送を実用化した。

スペクトラム拡散変調は耐ノイズ性に優れた方式で, 擬似雑音信号(PN(Pseudo Noise)符号)により情報信号のスペクトルが拡散されて伝送される。車上受信部では, 相関検波によるPN符号信号の抽出と同期検波処理により復調を行う。試験線において, PN符号の多重化により, AF(Audio Frequency)周波数帯で300bpsのデジタル符号伝送を実証している。

高速かつ大規模なデジタル演算回路の適用により, 信号処理能力上のマージンは十分確保している。例えば, アナログ波からデジタル波への更新に対応するために, アナログ波にデジタル波を重畳させるケースでも双方の同時並行処理が可能である。

3.4 制御部

デュアルコンピュータの演算結果を常時照合するフェー

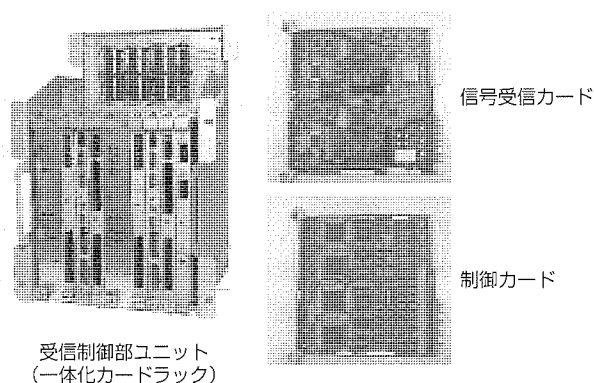


図2. 集約形受信制御部の外観

ルセーフ方式によるブレーキ制御を行う。高速演算プロセッサを適用しているため, 将来の機能拡張に備えて十分な能力と柔軟性を持っている。車上パターン式1段ブレーキ制御への対応についても, 現行の制御方式と共存を含めた形で実現可能である。

3.5 装置外観

一例として, 連続誘導式ATC機能, 変周式ATS機能, トランスポンダ式ATS機能をモニタ記録機能も含めて一体化した受信制御部の外観を図2に示す。1重系構成で, 幅300mm×高さ400mm×奥行き290mmのカードラックユニットに収めることができる。入出力部は, 入出力条件(入出力点数, 電圧階級等)に応じて継電器ユニットとして構成する。

同一の機能を従来の受信部ユニットや制御部ユニットで構成した場合, 各信号方式ごとの個別ユニットを5~6台組み合わせて構成することになり, 今回一体化した集約形受信制御部ユニットと比べて容積比で2~3倍となる。

既設の保安車上装置に他の信号方式等を併用して機能向上を図る場合は, ハードウェアの追加が必要となり, 設置スペースの増大に伴う大幅な艤装(ぎそう)改造が生じる。しかし, 装置の大幅な小型化が実現できたことで, このような艤装上の問題を容易に解決することができる。

4. む す び

以上述べたように, 従来アナログ回路主体で行ってきた信号処理及び制御処理の主要機能をフルデジタル化することで, 装置の飛躍的な小型化とともに, 今後適用される新しい信号方式に対してもソフトウェア機能モジュールの更新や追加によって柔軟に対応することが可能である。

今後も, 列車運行の安全を確保する重要な保安機器として安全性及び信頼性の確保はもとより, 保守性・拡張性を重視しながら, 経済的な列車保安装置を提案していく所存である。

最近の車両用空気調和装置 — 2階建て車両用AU729形空気調和装置の紹介 —

小柳良文*

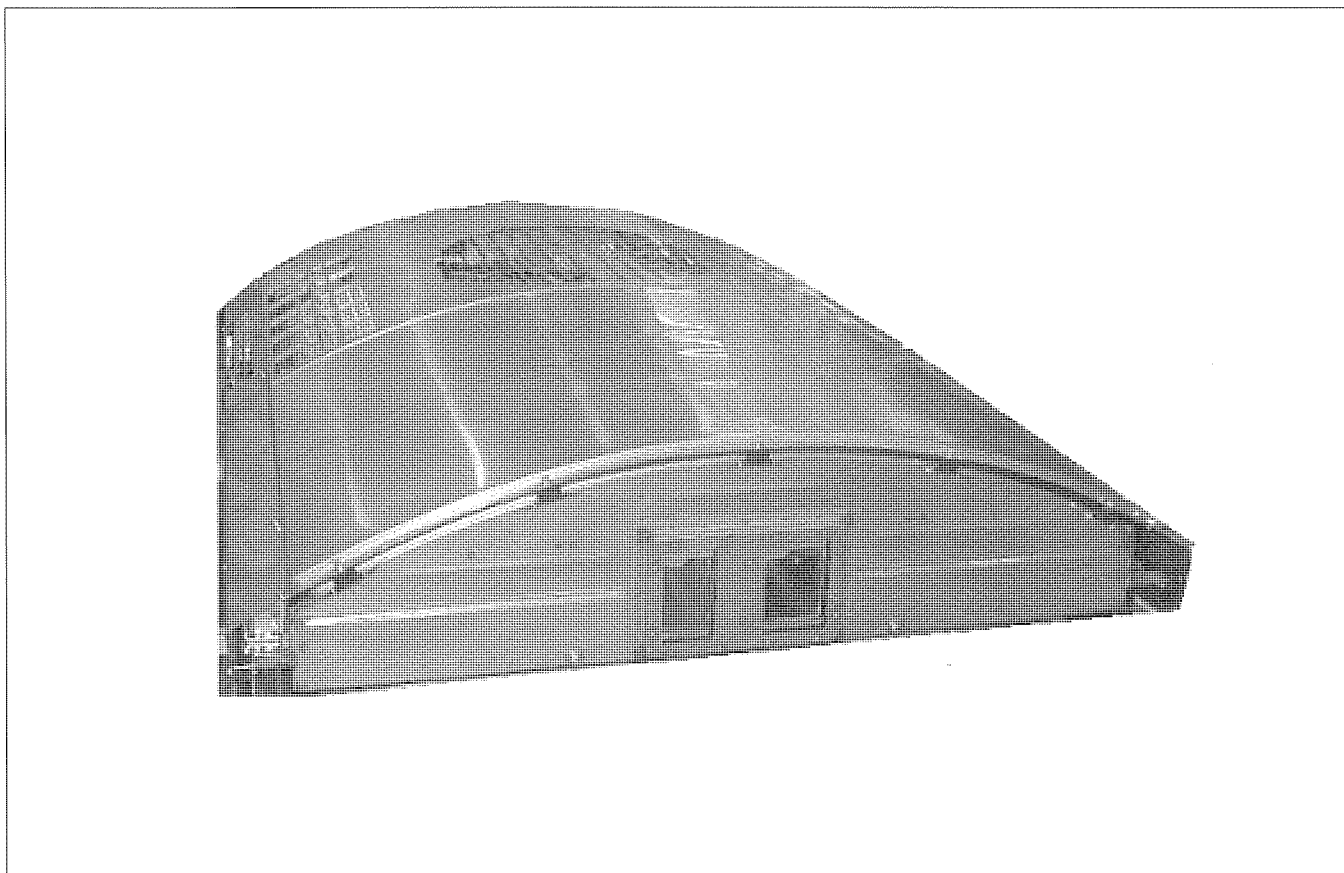
*The Latest Rail Car Air Conditioner—Introduction of AU729 Air Conditioner for Double-decker Rail Car—
Yoshifumi Koyanagi*

要 旨

車両用空気調和装置は、走行する車両内の空調を行うための機器であるため、ルームエアコンやビル用空気調和装置とは異なる特殊性がある。すなわち、同じ空間に多数の乗客が集中し、駅の発着とともに多数の乗客の出入、及び乗客数の変動が発生する。また、乗客の着衣量、空調に対する快適性の体感なども多岐にわたるため、所定の冷房能力を満足するだけでなく、車内の快適な空調環境を実現するための最適な制御が重要となる。さらには、車両限界、車体構造上の空間制限を満足する外形に抑える必要がある

ため、車両用空気調和装置の設計においては、常に性能、制御、外形を十分検討し、必要に応じて現車試験での検証を実施して快適な空調を提供することに努めている。車両には各種種類があるため、車両用空気調和装置も、用途に応じたいろいろなバリエーションが存在する。

本稿では、階下室(1階)、階上室(2階)、車端室と個別制御が必要な2階建て車両用空気調和装置について、空調システムや制御方法について述べる。



AU729形2階建て車両用空気調和装置

近郊電車の2階建てグリーン車用空気調和装置であり、車両両端の屋根上に設置している。空調を行うための吹出口は階下室(1階)、階上室(2階)、車端室(前位室、後位室)の客室ごとにそれぞれ分かれており、個別空調ができる構造となっている。

*冷熱システム製作所長崎工場

1. ま え が き

鉄道各社は、公共の輸送機関としての役割を果たすため、環境の改善、快適な空間の提供等の面から、常に利用客のニーズに耳を傾けている。鉄道の発着点となる駅にはエスカレーター、エレベーターを設置して高齢者や身障者の利用を配慮したバリアフリー化の促進、自動改札機による駅構内への入出場時の混雑解消、また、最近では、ICカード導入による乗車券購入時間の短縮、スムーズな改札を実現する出改札システムも導入され始めている。一方、車両には、新幹線、通勤・近郊電車、地下鉄電車、路面電車、モノレール、新交通車両等、各種種類がある。それぞれ、営業運用の違いから車両の大きさ、定員、走行条件等が異なっているため、車両に応じた快適な乗り心地、快適空間の提供、及び快適性向上が必要とされている。また、車両の快適環境を提供するだけでなく、車両の軽量化による駆動動力低減、使用電力低減による省エネルギー化に対する要求も強い状況にある。

こうした状況下において、車両に搭載される車両用空調装置は、利用客に快適な空調を提供する重要な要素であり、車内の快適環境を維持するための機能が要求される。

ここでは、最近の車両用空調装置の代表例として、昨年度秋に納入し今年度から東海道本線に投入される近郊電車向け2階建てグリーン車用空調装置について述べる。

2. 近郊電車向け2階建て車両用空調装置の課題

利用客の2階建てグリーン車に対するイメージは、2階(階上室)は展望の良さ、1階(階下室)は個室空間の提供であるだろう。また、鉄道会社としては、2階建てとすることで座席数が増大し、より多くの利用客に快適な空間を提供することができると言える。

しかしながら、近郊電車向け2階建て車両の空調を行うためには、一般的な近郊電車とは異なる工夫が必要である。

一つ目は、2階建て車両は客室が1階(階下室)と2階(階上室)に存在するため、個別制御が必要となることである。また、車端室(前位室、後位室)も客室の場合、4室を個別制御することとなり、より複雑な制御が要求される。

二つ目は、ドア開閉による車内温度の変動が発生することである。新幹線、特急車2階建て車両の場合、営業線における発着駅の数はい少ないため、ドア開閉による車内温度の変動は比較的少ない。一方、近郊電車の場合、仕切りがなく、ドア開閉とともに車内温度が常に変動するため、空調装置を適切に追従させる制御が必要となる。

3. 車両の空調負荷に対する能力負荷配分の設定

車両の空調負荷には、伝熱負荷、乗客負荷、換気負荷、

日射負荷、機器負荷等の熱負荷がある。空調装置の必要能力は、この熱負荷とバランスする車内温度が所定の基準温度以下になるように設定しなければならない。

今回の場合、階下室、階上室、車端室(前位室、後位室)の4室を2台の空調装置(1台当たり23.26kW)で空調する必要がある。すなわち、客室ごとの熱負荷を考慮した空調装置の能力負荷配分を設定しなければならない。

図1は、冷房能力の能力負荷配分及び冷房負荷・冷房能力を100としたときの客室ごとの割合をグラフ化したものである。空調装置の冷房能力の負荷配分は、客室ごとの冷房負荷計算結果、及び過去の2階建て車両用空調装置の経験を考慮して図のように設定している。

4. 空調システムの概要

この空調システムは、図2の構成図に示すように、車両前後の客室屋根上に搭載する2台の空調装置(23.26kW/台)・接触器箱と、階上室、階下室、車端室(前位室、後位室)の4ブロックにそれぞれ設置される座席下温度センサ、階上室に設置される湿度センサ箱、階下室、車端室に設置される温度センサ箱、空調装置のリターン口に設置したリターン口温度センサ、及び空調制御器より構成される。

空調制御器は、階下室、階上室、及び車端室(No.1空調装置は前位室、No.2空調装置は後位室に対応)の4室をそれぞれ個別に制御する。

空調装置は車両の両妻屋根上設置の天井形で、1両当たり2台搭載するものである。空調装置の仕様は表1のとおりである。冷媒はオゾン破壊係数“0”のR407C(HFC:ハイドロフルオロカーボン)を使用し、圧縮機は4台搭載しており、客室ごとに専用の冷媒回路を設け、個別制御に対応できるように構成している。また、室内送風機も圧縮機と同様に客室対応で4台搭載しており、各々2段階の風量切換えを可能とし、車内空調の快適性を向上させる構造としている。

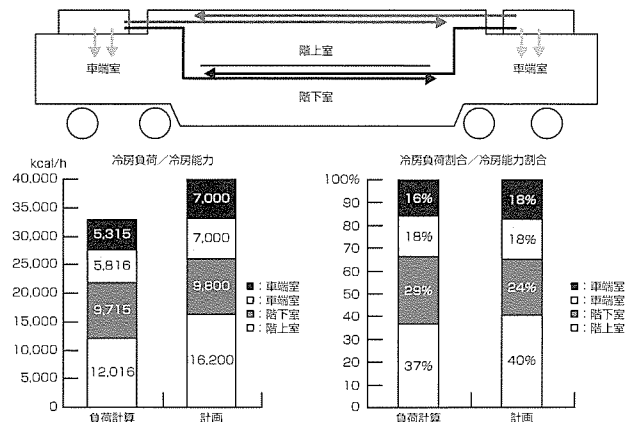
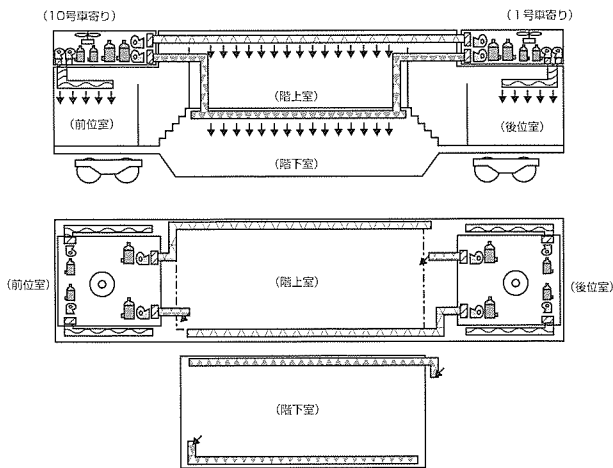
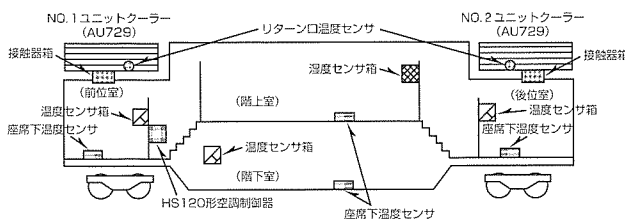


図1. 冷房負荷/冷房能力検討



NO.	機器名称	員数	設置場所	備考
①	AU729形空調装置	2	屋根上	EF×2, CF×1, CP×4 ヒーター×4を各々内蔵
②	SRB87形空調接触器箱	2	空調装置下部天井	
③	HS120形空調制御器	1	デッキ部配電盤室	32ビットマイコン
④	湿度センサ箱	1	階上壁部	湿度/温度検出兼用
⑤	リターン口温度センサ	2	リターン口	
⑥	温度センサ箱	3	階下室, 車端室壁部	
⑦	座席下温度センサ	4	座席付近	過熱防止/過冷房防止
⑧	暖房用ヒーター	一式	座席下	

EF: Evaporator Fan
CF: Condenser Fan
CP: Compressor

図2. 空調システムの機器構成

表1. AU729形空調装置の仕様

形名	AU729
形式	天井準集中形
電源	主回路: 三相, 440V, 60Hz 制御回路: 単相, 100V, 60Hz
圧縮機	1.2kW × 1台 1.9kW × 1台 1.0kW × 2台
室内送風機	0.4kW × 1台 0.75kW × 1台 0.2kW × 2台
室外送風機	0.8kW × 1台
冷房能力	23.26kW
循環風量	約50 m ³ /min
入力	約9.5kW
製品質量	465kg

5. 空調装置の制御

階下室, 階上室, 及び車端室(前位室, 後位室)の個別制御では, 図3に示すファジー制御推論を適用している。表2は, 従来の2階建て車両空調装置(AU713形)との比較を示したものである。

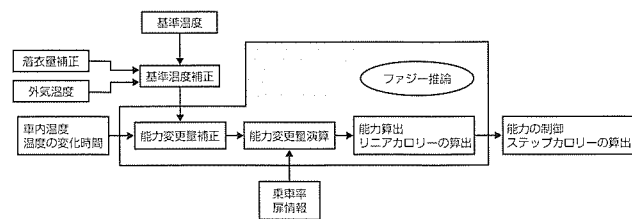


図3. ファジー制御推論

表2. 従来の2階建て車両用空調装置との比較

空調装置	形名	AU713	AU729
空調装置	圧縮機	2台(1種類)	4台(3種類)
	室内送風機	1台	4台(4種類)
	室外送風機	1台	1台
冷房能力		18,000kcal/h	23.26kW (20,000kcal/h)
循環風量		約45m ³ /min	約50m ³ /min
空調装置台数		2台/両	2台/両
入力		約7.0kW	約9.5kW
製品質量		395kg	465kg
各客室の冷房能力配分		各客室の冷房能力配分はダクト側で配分している。	各客室の冷房能力配分は各客室専用の圧縮機で配分している(圧縮機, 室内送風機は各客室専用で対応)。
冷房運転		リターン口温度を検出し, 設定温度との差と湿度の関係から決まる運転領域パターンで運転を行う。容量制御はインバータ制御方式を採用している。	客室ごとに温度を検出し, 客室ごとにファジー制御による運転を行う。容量制御は稼働率制御方式を採用している。
暖房運転		客室ごとに温度を検出し, 設定温度との差により対応する運転パターンで個別制御を行う。	客室ごとの温度を検出し, 客室ごとにファジー制御によるヒーターのON/OFF制御を行う。

冷房運転の制御の場合, AU713形では温度と湿度の関係で一義的に決まる運転パターンによる容量制御であったが, AU729形(今回)の場合, 機器の運転は客室ごとにファジー推論の出力に応じた運転パターンで容量制御を行う。容量制御にはインバータ制御式(インバータ制御器が別途必要: AU713形が該当), 圧縮機の運転稼働率による制御方式などがあるが, 今回は, 運転稼働率による容量制御方式を採用している。

暖房運転の制御の場合, AU713形では客室ごとの温度に応じた運転パターンによるヒーターのON/OFF制御であったが, AU729形(今回)の場合, 機器の運転は冷房運転制御と同じく客室ごとにファジー推論の出力に応じた運転パターンで座席下ヒーター及び空調装置内蔵ヒーターのON/OFF制御を行う。

以上のように, AU729形の空調装置は, 客室ごとの個別制御, 及びファジー制御の採用により従来の空調装置(AU713形)よりも快適性を向上させた制御方式と

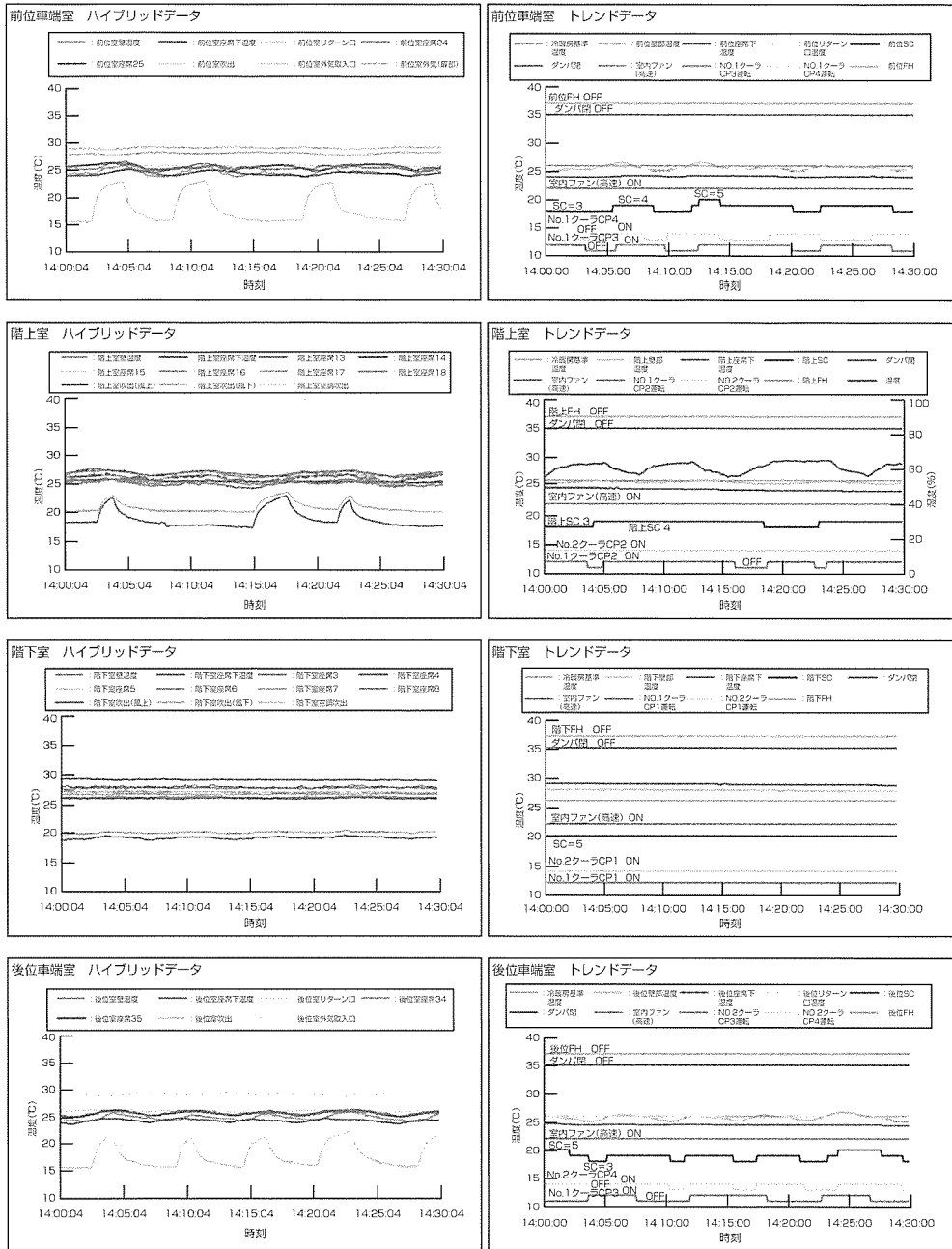


図4. 現車試験データ事例

なっている。

6. 現車試験例

この空調システムの現車試験データ事例を図4に示す。この試験は、車両製造メーカーの気候試験設備内に車両を設置して自動冷房試験を実施し、結果を客室ごとに整理したものであるが、設定温度26℃に対して、25~27℃で安定した制御となっていることが分かる。

7. むすび

この空調システムは、近郊電管用2階建てグリーン車の

快適な空調を実現するために構築されたものであるが、他機種への展開、また、営業線投入後のデータ収集を行うことで、より快適な空調を提供するため改良を図っていく所存である。

参考文献

- (1) 浜崎信義, ほか: 快適な車両用空調装置, 鉄道車両と技術, No.91, 32~40 (2003)
- (2) 浜崎信義, ほか: 東日本旅客鉄道211/113系電車空調システム, 第26回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集 (1990)



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

真空スイッチ管 特許第2049606号(特公平7-77105)

発明者 寄田光政

この発明は、真空遮断器に内蔵する真空バルブに関するものであり、真空バルブを絶縁媒体中で使用する場合の絶縁筒の最適軸方向長さ L (mm)を定めるものである。

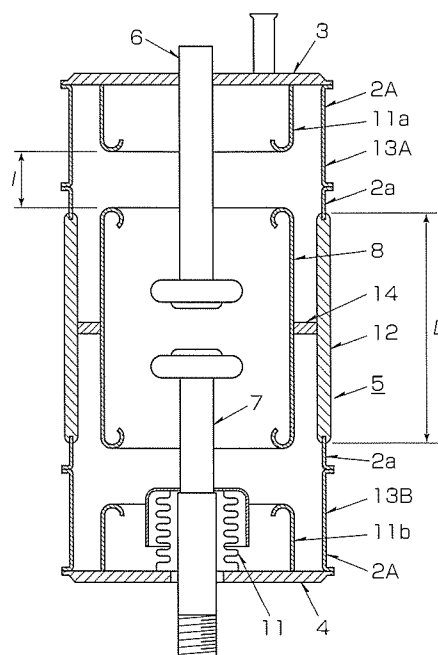
従来は、外立面耐電圧を確保するために絶縁筒を複数個使用し軸方向の距離を保った大気中用真空バルブを、絶縁媒体中(油や SF_6 ガス等)でも使用していた。そのため、絶縁筒の軸方向長さが長く、同じ絶縁媒体中で使用する他の機器に比べて大きく、真空容器の真空バルブに占める価格構成比率が高いために真空バルブも高価になっていた。

この発明は、上記の欠点を解決するためになされたもので、絶縁筒の軸方向の長さ L (mm)の最小値と定格電圧 V (kV)の関係が下式を満たせばよいことを発見した。

$$L \geq 15.6 \times V^{2/3}$$

この結果、絶縁媒体中での耐電圧を確保しつつ、絶縁筒長さを大気中に比べ約1/2程度に短縮することができる。

また、絶縁筒を封着するために使用する特殊金属(例えばFe-Ni-Co合金)のフランジ筒の使用量も少なくすることができ、磁束による発熱も低減されるので、絶縁媒体中で使用する最適な絶縁筒を設計することができる。



- | | |
|---------------|---------------|
| 2A, 2a: フランジ筒 | 8: アークシールド筒 |
| 3, 4: 端板 | 12: 絶縁筒 |
| 5: 真空容器 | 13A, 13B: 金属筒 |
| 6: 固定電極 | 14: 絶縁支持板 |
| 7: 可動電極 | |

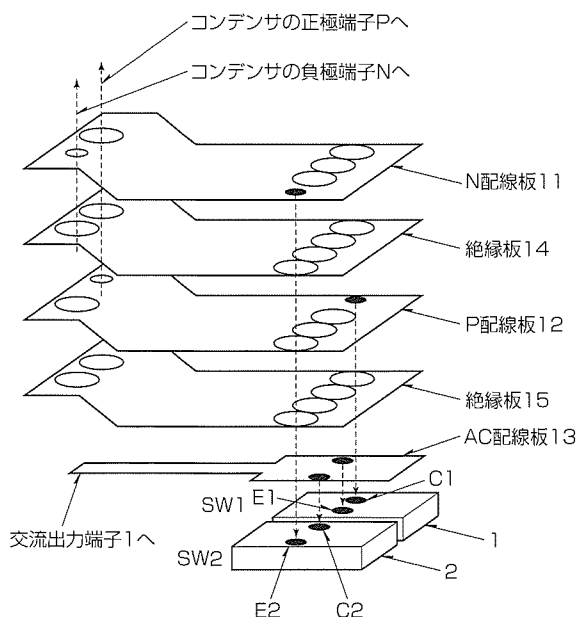
電力変換装置 特許第3046276号(特開平11-332253)

発明者 田中 毅, 石田達美

推進制御装置・補助電源装置を始めとした電鉄車両用パワーエレクトロニクス機器や汎用の半導体電力変換装置に使用されるパワーユニットとしては、スイッチングによるサージ電圧や発生損失低減という観点から、半導体素子・フィルタコンデンサを含んだ回路のインダクタンスを最小に低減する必要がある。

この発明は、IGBT等の半導体素子の端子を直線配置し、かつ直流のP側とN側の配線導体を重ね合わせることにより主回路配線を最短とし、さらに、直流P側とN側の電流による磁界がキャンセルするように配置することにより、回路のインダクタンスを大幅に低減可能とするものである。

この発明により、従来必要であったスナバ回路が不要になり、発生するスイッチング損失が低減でき、部品点数の削減により装置の小型化・低損失化・低コスト化・高信頼化を実現するものである。





特許と新案 * * *

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

高周波変圧器の偏磁防止回路 特許第3501548号 (特開平7-143048)

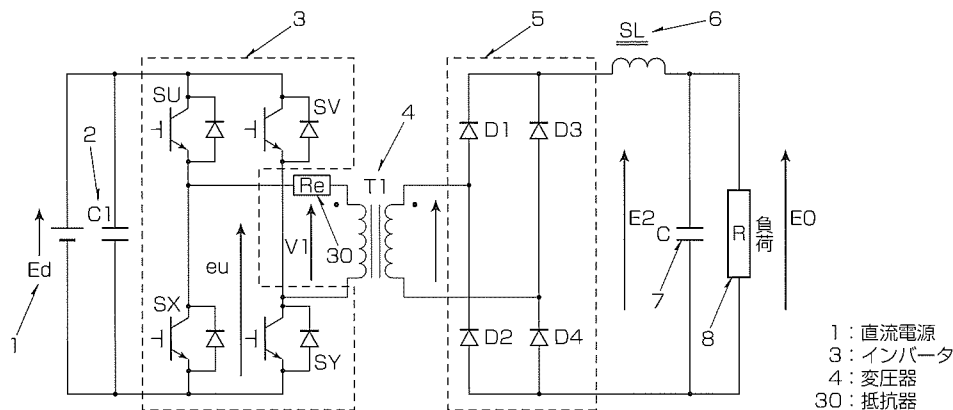
発明者 林 伸一郎, 糀 芳信

パワーエレクトロニクスを応用した半導体電力変換装置の大幅な小型・軽量化を実現するのに、高周波インバータを使用した高周波リンク方式のDC/DC(直流-直流)コンバータの使用が有効である。

高周波リンク方式には絶縁用の高周波変圧器が必要であるが、小型化が可能な反面、偏磁(直流成分による磁束飽

和現象)しやすくなるという課題があった。

この発明は、高周波変圧器の配線の一部に銅やアルミより若干大きめの抵抗率を持つ金属を採用するという極めて簡単な構成で高周波変圧器の偏磁現象を抑制することができるものである。



<本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

<次号予定> 三菱電機技報 Vol.79 No.1 特集「技術の進歩」

三菱電機技報編集委員	三菱電機技報 78巻12号	2004年12月22日 印刷
委員長 三嶋 吉一	(無断転載・複製を禁ず)	2004年12月25日 発行
委員 小林 智里 長谷川 裕 堤 清英	編集人 三嶋 吉一	
森原 幸志 村松 洋 松本 修	発行人 松本 敬之	
浜 敬三 藤原 正人 中川 博雅	発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部	
瀬尾 和男 部谷 文伸	〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号	
黒畑 幸雄 山本 比呂志	日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847	
事務局 松本 敬之	印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス	
本号取りまとめ委員 山本 保	発売元 株式会社 オーム社	
東村 充章	〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地	
	電話 (03)3233局0641	
	定 価 1部945円(本体900円) 送料別	
URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp	

三菱電機技報 (2004年 第78巻) 総目次

1号 技術の進歩	6号 特集「マイクロ・ナノテクノロジー 適用例とその評価・解析技術」	10号 特集「モノづくり力の強化」
2号 特集「無線通信システム」	7号 特集「高速電力線通信技術」	11号 特集「プラスチック成形技術」
3号 特集「光・高周波デバイス」	8号 特集「物理セキュリティ」	特集「先進モジュール実装技術」
4号 特集「安全・安心を支える ITソリューション」	9号 特集「クルマ社会をささえる 先進技術」	12号 特集「最新の受配電システム」
5号 特集「最新の映像技術と社会 インフラシステムへの応用」		特集「車両(電気鉄道)システム技術」

技術の進歩特集

	号	ページ
巻頭言・カラートピックス	1	3
1. 研究・開発	1	31
2. 発電・系統変電・産業・公共・交通システム	1	53
3. 昇降機及びビル設備	1	63
4. 宇宙・衛星及び電子応用	1	67
5. 通信	1	70
6. 情報	1	73
7. 映像情報	1	81
8. 住環境	1	84
9. FA及び産業メカトロニクス	1	88
10. 自動車機器	1	94
11. 半導体・電子デバイス	1	97
社外技術表彰一覧表・詳細目次	1	102

Advance of Technology

Foreword・Colored Topics
Research・Development
Power Generation Systems・Transmission and Distribution Systems・Industrial Systems・Public and Municipal Infrastructure Systems・Transportation Systems
Elevator, Escalator and Facilities for Building
Space Systems and Electronic Systems
Communication Systems
Information Systems and Network Service
Visual Information
Living Environment
Industrial Automation Systems
Automotive Equipment
Semiconductor and Device
Technological Commendation List from Outside Corporation・Detailed Table of Contents

特集論文

特集「無線通信システム」

無線通信システム特集に寄せて	2	113
伊藤久明		
無線通信システムの現状と今後の展望	2	114
木村和夫		
W-CDMA基地局装置	2	119
栗屋英司・崎間伸洋・友江直仁		
W-CDMA基地局用復調LSI	2	123
中島隆雄・前田昌也・金子幸司・松本 仁・青山公則		
第3.5世代移動体通信向け要素技術	2	127
天田洋一・草野正明・藤江良一		
IP RANゲートウェイ	2	131
武 啓二郎・八木章好・木下裕介		
モバイルマルチメディア多地点通信システム	2	135
坂井正尚・枝廣圭一・小松正裕・柴田邦夫・茂木 強		
多チャネル対応500mW PHS基地局	2	139
安田周平・高橋宏章・小畑 潔		
5GHz帯高速無線アクセスシステム	2	144
夏川真二・越馬 淳・新谷嘉浩・川端孝史		
東北・上越新幹線デジタル列車無線システム	2	148
藤岡 滋・山崎 誠・川本真紀夫・久保博嗣		
東北・上越新幹線デジタル列車無線のアプリケーションサービス	2	152
伊村 真・花田 豊・平松昭彦		
800MHz帯デジタルMCAシステム	2	156
竹村 治・須貝順二・池内聖子		
市町村デジタル同報通信システム	2	160
増田真介		

Wireless Communication Systems

Special Issue on Wireless Communication Systems
Hisaaki Ito
Current and Future Activities in Wireless Communication Systems
Kazuo Kimura
W-CDMA Base Station Equipment
Hideshi Awaya, Nobuhiro Sakima, Naohito Tomoe
Demodulator LSI for W-CDMA Base Station Equipment
Takao Nakajima, Masaya Maeda, Kouji Kaneko, Hitoshi Matsumoto, Masanori Aoyama
Technologies for 3.5G Mobile Communications
Yoichi Tenda, Masaaki Kusano, Ryoichi Fujie
IP RAN Gateway
Keijiro Take, Akiyoshi Yagi, Yusuke Kinoshita
Mobile Visual Communication System
Masanao Sakai, Keiichi Eda, Masahiro Komatsu, Kunio Shibata, Tsyoshi Motegi
High Capacity 500mW PHS Cell Station
Shuhei Yasuda, Hiroaki Takahashi, Kiyoshi Obata
5GHz High-speed Wireless Access System
Shinji Natsukawa, Jun Koshiba, Yoshihiro Shintani, Takashi Kawabata
Tohoku and Joetsu Shinkansen Digital Train Radio System
Shigeru Fujioka, Makoto Yamazaki, Makio Kawamoto, Hiroshi Kubo
Application Service for Tohoku and Joetsu Shinkansen Digital Train Radio System
Makoto Imura, Yutaka Hanada, Akihiko Hiramatsu
800MHz Digital MCA System
Osamu Takemura, Junji Sugai, Seiko Ikeuchi
Regional Digital Simultaneous Communication System
Shinsuke Masuda

デジタル移動体通信システム用端末“FM-719A”	2	164
村田隆司・澤村 洋・武智伸泰・久保博嗣		
地上デジタル放送送信機	2	168
千田晴康・三木正道・岡村一弘		
地上デジタル放送SFN中継用キャンセラ	2	171
山崎健一郎・石津文雄・三木正道・村上圭司		

特集「光・高周波デバイス」

光・高周波デバイス特集に寄せて —すべてはネットワークに通ず—	3	181
北山研一		
光・高周波デバイス事業の展望	3	182
三宅良雄		
記録型DVD装置用赤色高出力半導体レーザー	3	187
西口晴美・阿部真司・佐々木素子		
記録型DVD用赤色レーザー対応エピタキシャル成長量産化技術	3	191
竹見政義・小野健一・高瀬 禎		
85℃動作版2.5Gbps対応1.55μm帯DFB-LD	3	195
奥貫雄一郎・境野 剛		
10Gbps EA/LD駆動用IC“ML0××18シリーズ”	3	198
宮下美代・鈴木 敏・松原 司		
40Gbps導波路型フォトダイオード	3	202
中路雅晴・石村栄太郎・花巻吉彦		
高速光変調器シミュレーション技術	3	206
宮崎泰典・鷗崎晋也・青柳利隆		
40Gbps用光モジュール及びトランスポンダ	3	210
八田竜夫・石崎光範・比嘉盛雄・酒井清秀・本島邦明		
ミリ波帯MMIC	3	214
野谷佳弘・日坂隆行・石川高英		
W-CDMA方式携帯電話用HBT電力増幅器モジュール	3	218
関 博昭・森脇孝雄・山本裕治・森本浩司		
Ku帯VSAT用高出力GaAs FET	3	222
辻 聖一・中本隆博・小芦佳宏		
高周波デバイスの特性向上に向けたCat-CVD技術の適用	3	226
奥 友希・戸塚正裕・加茂宣卓・國井哲郎・服部 亮		
高周波CMOSデバイスモデリング技術	3	230
古川彰彦・山川 聡・大森達夫		
高周波・光デバイス用パッケージと実装技術の動向	3	234
小野如満		

特集「安全・安心を支えるITソリューション」

安全・安心を支えるITソリューション特集に寄せて	4	245
土居範久		
三菱電機情報セキュリティソリューション	4	246
勝山光太郎・小松田敏二・飯島康雄		
三菱情報漏洩防止ソリューション	4	251
二井正雄・中嶋春光・近藤誠一・伊藤英明		
ユビキタスセキュアソリューション実現のための 認証サービス	4	255
村木克己・角野章之・中村克己		
セキュリティ機能を充実させたサーバベース クライアントによるSBCソリューション	4	259
木幡康博・富安哲郎・清水茂樹		
ネットワークセキュリティソリューション	4	263
吉田 稔・寺沢 茂・山崎義直		

FM-719A Digital Mobile Radio	Takashi Murata, Hiroshi Sawamura, Nobuyasu Takechi, Hiroshi Kubo
Digital Terrestrial Television Broadcast Transmitter	Haruyasu Senda, Masamichi Miki, Kazuhiro Okamura
SFN Cancellor for Digital Terrestrial Broadcasting	Kenichiro Yamazaki, Fumio Ishizu, Masamichi Miki, Keishi Murakami

High Frequency and Optical Devices

High Frequency and Optical Devices : Key to 21st Century Networks	Kenichi Kitayama
Business Outlook for High Frequency and Optical Devices	Yoshio Miyake
High-Power, High-Efficiency 660nm Laser Diodes for DVD-R/RW	Harumi Nishiguchi, Shinji Abe, Motoko Sasaki
Epitaxial Growth Technique of High Power Red Laser Diodes for Recordable DVD	Masayoshi Takemi, Kenichi Ono, Tadashi Takase
1.55 μm DFB-LD for 2.5Gbps, ~85°C Operation	Yuichiro Okunuki, Go Sakaino
10Gbps EA/LD Driver IC “ML0XX18 Series”	Miyo Miyashita, Satoshi Suzuki, Tsukasa Matsubara
40Gbps Waveguide Photodiode	Masaharu Nakaji, Eitaro Ishimura, Yoshihiko Hanamaki
Numerical Approaches for Designing High-Speed Electroabsorption Modulators	Yasumori Miyazaki, Shinya Tokizaki, Toshitaka Aoyagi
40Gbps Optical Module and Transponder	Tatsuo Hatta, Mitsumori Ishizaki, Morio Higa, Kiyohide Sakai, Kuniaki Motoshima
Millimeter-Wave MMIC	Yoshihiro Notani, Takayuki Hisaka, Takahide Ishikawa
HBT Power Amplifier Modules for W-CDMA Handsets	Hiroaki Seki, Takao Moriwaki, Yuji Yamamoto, Koji Morimoto
High Power GaAs FET for Ku Band VSAT	Seiichi Tsuji, Takahiro Nakamoto, Yoshihiro Koashi
Application of Cat-CVD Technique for Improvement in Electrical Characteristics of Microwave Devices	Tomoki Oku, Masahiro Totsuka, Yoshitaka Kamo, Tetsuo Kunii, Ryo Hattori
Device Modeling Technology for RF CMOS	Akihiko Furukawa, Satoshi Yamakawa, Tatsuo Omori
The Trend of the Package and Mounting Technology for High Frequency and Optical Devices	Kisamitsu Ono

Solutions for IT-Oriented Safety and Reliability

Foreword to Special Issue on Solutions for IT-Oriented Safety and Reliability	Norihisa Doi
Mitsubishi Electric Group's Total Solutions for Information Security	Kotaro Katsuyama, Binji Komatsuda, Yasuo Iijima
Mitsubishi Electric Group's Solution for Information Leak Protection	Masao Futatsui, Harumitsu Nakajima, Seiichi Kondo, Hideaki Ito
Authentication Service for Ubiquitous Secure Solutions	Katsumi Muraki, Akiyuki Sumino, Katsumi Nakamura
A Solution using the Security-Enhanced Server Based Client for Server Based Computing	Yasuhiro Kawata, Tetsuro Tomiyasu, Shigeaki Simizu
A Network Security Solution	Minoru Yoshida, Shigeru Terasawa, Yoshinao Yamazaki

セキュリティ技術を活用した トータルWebインテグレーションフレームワーク “セキュアWebソリューション” …… 4 ……267 田名網淳夫・遠藤 淳・鷲津 忍・角野章之・釜坂 等	Secure Web Solution: A Framework for Total Web Integration Utilizing Security Technologies <i>Atsuo Tanaami, Jun Endo, Shinobu Washizu, Akiyuki Sumino, Hitoshi Kamasaka</i>
顧客ニーズの抽出・活用を迅速・安全に支援するWeb マーケティングソリューション“ActiveMarketer” 4 ……271 土田泰治・磯西徹明・稲垣尚史・相川勇之	Active Marketer: A Web Marketing Solution for Quick and Secure Extraction of Customer Needs <i>Taji Tsuchida, Tetsuaki Isonishi, Naoya Inagaki, Takeyuki Aikawa</i>
知識情報活用エンジンを搭載した統合ドキュメント 管理システム“Manedge Leader” …… 4 ……275 岡村博之・稲葉 豊・小島栄之・中谷壮志	Manedge Leader: An Integrated Document Management System Powered by the Knowledge Information Processing Engine <i>Hiroyuki Okamura, Yutaka Inaba, Eiji Kojima, Masashi Nakaya</i>
高信頼性を実現した次期衛星配信ソリューション …… 4 ……279 福田 隆・石川康雄・鷹取功人・吉田 浩・名古屋 翼	Advanced Solution for Highly Reliable Content Distribution via Satellite <i>Takashi Fukuda, Yasuo Ishikawa, Norihito Takatori, Hiroshi Yoshida, Tasuku Nagoya</i>
ヘルスケアセキュリティソリューション …… 4 ……283 宮崎一哉・荻原秀幸・佐納成重	A Solution for Health Care Security <i>Kazuya Miyazaki, Hideyuki Miyohara, Narishige Sanoh</i>
中堅企業向け人事・総務部門トータルシステム “セキュアALIVE Solution” …… 4 ……287 庭山正志・森口隆史・大石浩之	Secure ALIVE Solution: Total Secure System for Personnel and General Affairs of Small- and Medium-sized Enterprises <i>Masashi Niwayama, Takashi Moriguchi, Hiroyuki Ohishi</i>
金融基幹系向け“高信頼ブロードバンド ネットワークソリューション” …… 4 ……291 止部久仁彦・大月英雄・井上紀明・重野俊浩	Highly Reliable Broadband Network Solution for Mission Critical Financial Systems <i>Kumihiko Tomebe, Hideo Otsuki, Noriaki Inoue, Toshihiro Shigeno</i>
ビル資産価値とテナント向けサービスの向上を 提供する“ビル情報サービスソリューション” …… 4 ……295 白鳥喜久・石川和範・滝口和男	Building Information Service Solution for Increasing Asset Value and Improving Tenant Service <i>Yoshihisa Shiratori, Kazumori Ishikawa, Kazuo Takiguchi</i>
高信頼性・拡張性を実現した“三菱電機ビルテクノ サービス(株)情報センターシステム” …… 4 ……299 佐藤利明・五十嵐敏之	Mitsubishi Electric Building Techno-Service Information Center System with High Reliability and Scalability <i>Toshiaki Sato, Toshiyuki Igarashi</i>
特集「最新の映像技術と社会インフラシステムへの応用」	The State-of-art Display and Video Technologies, and its applications to Public Infrastructure System
社会インフラシステムにおける映像技術について …… 5 ……309 村上篤道	Overview of Display and Video Technologies in Public Infrastructure System <i>Tokumichi Murakami</i>
最新の映像技術を応用した社会インフラシステム —現状と展望— …… 5 ……310 大久保秀之・渡部敏克	Recent and Future Public Infrastructure System with the Use of Latest Display and Video Technologies <i>Hideyuki Okubo, Toshikatsu Watanabe</i>
映像表示デバイス技術 …… 5 ……315 結城昭正・中田修平・柴谷 潤・芦崎能広・柴山耕三郎	Display Device Technology <i>Akimasa Yuki, Syuhei Nakata Zyum Someya, Yoshihiro Ashizaki, Kouzaburo Shibayama</i>
デジタル映像技術 …… 5 ……321 加藤嘉明・田中 敦・羽下哲司・浜口忠彦	Video Technologies in Public Infrastructure System <i>Yoshiaki Kato, Atsushi Tanaka, Tetsuji Haga, Tadahiko Hamaguchi</i>
大型映像表示装置 …… 5 ……327 前嶋一也・原 善一郎	Large Scale Display Board <i>Kazuya Maeshima, Zenichirou Hara</i>
DLPマルチ大画面表示装置 …… 5 ……332 渋谷重教・山川隆司	DLP Data Wall System <i>Shigenori Shibue, Takashi Yamakawa</i>
ウェアラブルディスプレイ“SCOPO” …… 5 ……337 蒔田哲郎・上田俊史・岡本達樹・道盛厚司・平澤宏祐	Wearable Display “SCOPO” <i>Tetsuro Makita, Takashi Ueda, Tatsuki Okamoto, Atsushi Michimori, Kosuke Hirasawa</i>
映像トランスコーダ …… 5 ……342 秦 淑彦・桑原直樹・加藤嘉明・関口俊一・Anthony Vetro	Video Transcoder <i>Toshihiko Hata, Naoki Kawahara, Yoshiaki Kato, Shunichi Sekiguchi, Vetro Anthony</i>
公営競技場／スタジアム大型映像表示制御システム …… 5 ……347 岩竹隆史・谷 昭彦・田中 敦	Control System of Diamond Vision for Public Race Track and Stadium <i>Takashi Iwatake, Akihiko Tani, Atsushi Tanaka</i>
電子看板／掲示板システム …… 5 ……352 麻生英樹・室園 透・谷 昭彦	Billboard/Sign Board System <i>Hideki Aso, Toru Murozono, Akihiko Tani</i>
デジタル映像監視システム …… 5 ……357 高橋浩一・吉田 剛・谷川浩三	Digital Video Surveillance System <i>Kouichi Takahashi, Takeshi Yoshida, Kouzou Tanigawa</i>
双方向マルチ大画面システム …… 5 ……362 高橋浩一・門馬 啓	Intracative Multi-Screen System <i>Kouichi Takahashi, Kei Momma</i>
ヘリコプター位置映像表示システム …… 5 ……367 野々山泰匡・井尻昌男・前田佳子	Helicopter Position and Image Display Unit <i>Yasumasa Nonoyama, Masao Ijiri, Yoshiko Maeda</i>
特集「マイクロ・ナノテクノロジー適用例とその評価・解析技術」	Micro & Nano Technology Application and Related and Analyses and Evaluations
マイクロマシンの産業化とナノフロンティアへの進展 6 ……375 藤田博之	Industrialization of Micromachined Devices and Evolution in Nano Frontiers <i>Hiroyuki Fujita</i>

マイクロ・ナノテクノロジー適用例とその評価・解析技術 6 …376 武田宗久・番 政広	Micro & Nano Technology Application and Related Analyses and Evaluations Munehisa Takeda, Masahiro Tsugai
SOIダイオード型非冷却赤外線センサに用いる ドライマイクロマシニングプロセス …… 6 …381 中木義幸・秦 久敏	Dry Micromachining Process for Uncooled IR FPA with SOI Diode Detectors Yoshiyuki Nakaki, Hisatoshi Hata
マイクロエアフローセンサのセンシング素子 …… 6 …385 山下 彰・坂井裕一・谷本考司・深見達也	Sensing Element for an Air Flow Sensor Akira Yamashita, Yuuichi Sakai, Kouzi Tanimoto, Tatsuya Fukami
MEMS高精度加速度センサ …… 6 …389 平田善明・番 政広・大谷 浩・山崎史朗・宮崎重実	High Precision MEMS Accelerometer Yoshiaki Hirata, Masahiro Tsugai, Hiroshi Otani, Shirou Yamasaki, Shigemi Miyazaki
DAMキャビティ構造を用いたKu帯シリコン受動素子 6 …393 吉田幸久・西野 有・李 相錫・末廣善幸・高木 直	Silicon-based Ku-Band Passive Components having a DAM Cavity Structure Yukihisa Yoshida, Tamotsu Nishino, Sang-seok Lee, Yoshiyuki Suehiro, Tadashi Takagi
160Gbps光通信用可変分散スロープ補償器 …… 6 …397 松本貞行・高林正和・吉新喜市・杉原隆嗣・宮崎哲弥・久保田文人	Tunable Dispersion Slope Compensator for 160Gbps Optical Communication Systems Sadayuki Matsumoto, Masakazu Takabayashi, Kiichi Yoshiara, Takashi Sugihara, Tetsuya Miyazaki, Fumito Kubota
次世代光通信デバイス用新ナノガラス材料 …… 6 …401 星崎潤一郎・吉新喜市・並木亮介	Developments of Advanced Nanostructure Glass for Next Generation Optical Communication Devices Junichiro Hoshizaki, Kiichi Yoshiara, Ryosuke Namiki
CNTを用いたFED …… 6 …405 藤川正洋・渡辺昭裕・西村邦彦	Carbon Nanotube FED Masahiro Fujikawa, Shoya Watanabe, Kunihiko Nishimura
エレクトロケミカルエッチング(ECE)とその応用 …… 6 …409 出尾晋一・斎藤文夫・大谷 浩・稲富健一・深見達也	Electrochemical Etching Technology and Application Shinichi Izuo, Fumio Saitoh, Hiroshi Ohji, Kenichi Inatomi, Tatsuya Fukami
高速SiCエッチング技術 …… 6 …413 津田 睦・仲村恵石・炭谷博昭	High-Rate SiC Etching Technology Mutsumi Tada, Keisuke Nakamura, Hiroaki Sumitani
超微細ナノリソグラフィ …… 6 …417 渡辺 寛・炭谷博昭・綾 淳	Nanolithography Technique Hiroshi Watanabe, Hiroaki Sumitani, Sunao Aya
SR光を用いたX線反射率測定によるSiO ₂ 膜解析 …… 6 …421 河瀬和雅・上原 康・梅田浩司・井上真雄	Synchrotron Radiation X-ray Reflectivity Measurements of Silicon Oxide Film Kazumasa Kawase, Yasushi Uehara, Hiroshi Umeda, Masao Inoue
レーザダイオードの微細構造解析 …… 6 …425 谷村純二・川崎和重・吉田保明・黒川博志	Structure Analysis of Laser Diodes Junji Tanimura, Kazushige Kawasaki, Yasuaki Yoshida, Hiroshi Kurokawa
湿度環境下における化合物半導体の拡散現象解析 …… 6 …429 白水達也・佐々木 肇	Diffusion Phenomena Analysis under the Humidity Environment of Compound Semiconductor Tatsuya Shiranizui, Hajime Sasaki
微小ポリシリコン構造体における強度と表面粗さの関係 6 …433 濱田 繁・谷 周一・番 政広・堀川牧夫・大谷 浩	Relation between Strength and Surface Roughness of Micro Polycrystalline Silicon Structure Shigeru Hamada, Shuichi Tani, Masahiro Tsugai, Makio Horikawa, Hiroshi Otani
特集「高速電力線通信技術」	
高速電力線通信技術特集に寄せて …… 7 …439 徳田正満	High Speed Power Line Communication Technology Foreword to Special Issue for High Speed Power Line Communication Masamitsu Tokuda
高速電力線通信の現状と展望 …… 7 …440 松崎 正・杉本 明・鹿間敏弘	Perspective on High Speed Power Line Communication Tadashi Matsuzaki, Akira Sugimoto, Toshihiro Shikana
高速電力線通信に対する各国の動向 …… 7 …445 堀口 彰・弓野雅章・大家正宏	World Trend of High Speed Power Line Communication Akira Horiguchi, Masaaki Yumino, Masahiro Oya
高速電力線通信の規制緩和の現状と今後の動向 …… 7 …451 森田淳士・下平平史・小根森章雄	Current Status and Future Trend of Deregulation of High Speed PLC Atsushi Morita, Heishi Shimodaira, Akio Konemori
高速電力線通信アクセス系システム …… 7 …455 小島佐和子・堀 泰彰・斉藤成一・下沢充広・高田佳典	High Speed Power Line Communication System for Access Network Sawako Ojima, Yasuaki Hori, Seiichi Saitou, Mitsuhiro Shimozawa, Yoshinori Takada
高速電力線通信ネットワークマネジメントシステム …… 7 …461 秋富利伸・杉本 賢・中田秀男・津高新一郎・寺内弘典	High Speed PLC Network Management System Toshinobu Akitomi, Satoshi Sugimoto, Hideo Nakata, Shimichiro Tsudaka, Hironori Terauchi
高速電力線通信に必要な電力システム技術 …… 7 …467 下村哲朗・岡本 弘・久山和宏	Power System Technology for High Speed Power Line Communication System Tetsuro Shimomura, Hiromu Okamoto, Kazuhiro Kuzama
配電線解析と通信可否判定支援ツール …… 7 …473 北山匡史・泉井良夫・安部淳一・田邊信二・河野良之	Distribution Network Analysis and Service Provisioning Support Tool Masashi Kitayama, Yoshio Izui, Junichi Abe, Shinji Tanabe, Yoshiyuki Kono
信号結合装置とバイパス装置 …… 7 …479 村田雄一郎・田邊信二・木村 亨・下村哲朗	Inductive Coupling Unit and Bypass Tool for Power Line Communications Yuichiro Murata, Shinji Tanabe, Toru Kimura, Tetsuro Shimomura
低密度パリティ検査符号技術 …… 7 …485 松本 渉	Low-Density Parity-Check Codes Wataru Matsumoto
特集「物理セキュリティ」	
物理セキュリティ特集に寄せて …… 8 …499 松山隆司	Physical Security System On Real World Security Technologies Takashi Matsuyama

三菱電機トータルセキュリティソリューションの推進	8…500
市毛正行・佐々木和則・朝日宣雄	
オフィスビルのセキュリティ運用支援システム “カードマネジメントシステム”	8…505
水野邦一・吉川 寛	
警備用遠隔画像監視システム	8…509
池田葵輝・竹田 元・渡辺 徹・合田尚史・野田忠義・三尾武史	
ビル向けデジタルCCTVシステム	8…513
小林正幸・野地 誠・引野 慎・玉木茂弘	
工場・研究所向けセキュリティシステム	8…517
芹沢一彦・橋詰 聡	
公共分野における監視システム	8…521
半田一郎・坪井尚登・荒巻 淳	
監視用デジタルレコーダとセルフセキュリティ応用	8…525
熊野 真	
新型指紋照合装置“FPR-MK4シリーズ”	8…529
藤原秀人・中村高宏・鹿井正博	
顔画像認識技術	8…533
橋本 学・田中健一・Michael Jones・Jay Thornton	
侵入検知・追跡カメラ	8…537
羽下哲司・新房健一・田中健二	
不審者検知技術	8…541
佐藤和也・熊野 真	
映像蓄積・検索・表示技術	8…545
秦 淑彦・近藤純司・西川博文・高橋浩一・安部 毅	
セキュリティ映像配信技術	8…549
阿倍博信・川畑幸保・上野幾朗	
セキュア映像蓄積・検証システム	8…553
木村智広・伊藤 浩・鈴木光義	
センサネットワーク技術	8…557
平岡精一・斎藤 隆・安藤康臣	
特集「クルマ社会をささえる先進技術」	
クルマ社会をささえる先進技術特集に寄せて	9…563
近藤隆彦	
自動車機器技術の動向と将来展望	9…564
尾崎 稔	
トランスミッション内蔵型IPUの開発・量産化	9…569
赤澤彰則・道中拓也・松田健二・山田 晃・上具康己	
ブラシレスEPSシステム	9…573
兄玉誠樹・堤 和道・松下正樹・中野正嗣	
二輪車用エンジンマネジメントシステム	9…577
福井 渉・畑 利明・奥田浩司	
FM帯域におけるエンジンコントロールユニットのEMI解析	9…581
白木康博・田邊信二・渡辺哲司・中本勝也	
エンジン制御用センサの小型化	9…585
中村洋志・樽谷公昭・谷本考司	
DCモータ駆動式EGRバルブとその制御	9…589
三好帥男・新家一彰・川村 敏	
車載品の検査装置と検査システム	9…593
坪井 隆・佐々木 競・前田文彦	
UWBマイクロ波レーダ	9…597
小玉勝久・小野政好・松岡克治	
マルチアプリケーションを実現するDSRC応用車載器	9…601
岡 賢一郎・西脇剛史・毛利徳彦・伊川雅彦・津田喜秋	
スマートエントリーシステムにおけるLF、UHF電磁場解析	9…605
依田 潔・菅原賢悟・白木康博・田邊信二・山本博明	

Total Security Solution by Mitsubishi Electric	Masayuki Ichige, Kazumori Sasaki, Nobuo Asahi
The Support System for Operators of Office Building Access Control System, "ID Card Management System"	Kunikazu Mizuno, Hiroshi Yoshikawa
The Remote Surveillance System for Security Services	Shoki Ikeda, Hajime Takeda, Toru Watanabe, Naofumi Goda, Tadayoshi Noda, Takeshi Mio
Digital CCTV for Buildings	Masayuki Kobayashi, Makoto Noji, Shin Hikino, Shigehiro Tamaki
Security System for Factory/Laboratory	Kazuhiko Serizawa, Akira Hashizume
Surveillance System for Public-field	Ichiro Handa, Hisato Tsuboi, Kiyoshi Aramaki
Digital Recorder for Surveillance and Self-Security Application	Makoto Kumano
New Fingerprint Recognizer "FPR-MK4 Series"	Hideto Fujiwara, Takahiro Nakamura, Masahiro Shikai
Human Face Recognition Technology	Manabu Hashimoto, Kenichi Tanaka, Michael Jones, Jay Thornton
Intruder Detection and Tracking Camera	Tetsuji Hoga, Kenichi Shimbo, Kenji Tanaka
Human Search Technology for Surveillance Video	Kazuya Sato, Makoto Kumano
Storage, Retrieval and Display Technology of Surveillance Video	Toshihiko Hata, Junji Kondou, Hirofumi Nishikawa, Kouichi Takahashi, Toshiyoshi Abe
Security Video Delivering Technologies	Hironobu Abe, Yukiyasu Kawahata, Ikuro Ueno
Surveillance Image Storage/Verification System secured by Watermarking Technologies	Tomohiro Kinura, Hiroshi Ito, Mitsuyoshi Suzuki
Sensor Network	Seiichi Hiraoka, Takashi Saito, Yasuomi Ando
Advanced technologies for Automobile and Society	
The Contribution to the Special Issue on Advanced Technologies for Automobile and Society	Takahiko Kondo
Engineering Trends and Prospective Stories in Automotive Equipment	Minoru Ozaki
Development of Transmission built-in type IPU	Akinori Akazawa, Takuya Michinaka, Kenji Matsuda, Akira Yamada, Yasumi Uegai
Brushless EPS System	Seiki Kodama, Kazumichi Tsutsumi, Masaki Matsushita, Masatsugu Nakano
Engine Management System for Motor Cycle	Wataru Fukui, Toshiaki Hata, Hiroshi Okuda
EMI Analysis for Engine Control Unit at FM Band	Yasuhiro Shiraki, Shinji Tanabe, Tetsushi Watanabe, Katsuya Nakamoto
Miniaturization of Sensor for Engine Control System	Hiroshi Nakamura, Masaaki Taruya, Kouji Tanimoto
EGR Valve Driven by DC Motor, and Control	Sotsuo Miyoshi, Kazuki Shinya, Satoshi Kawamura
Automotive Inspection Instrumentation and Inspection System Technology	Takashi Tsuboi, Shu Sasaki, Fumihiko Maeda
UWB Microwave Radar	Katsuhisa Kodama, Masayoshi Ono, Katsuji Matsuoka
DSRC Onboard Equipments for Multiple Applications	Kenichiro Oka, Takeshi Nishiwaki, Norihiko Mouri, Masahiko Ikawa, Yoshiaki Tsuda
LF and UHF Electromagnetic Field Analysis for Smart Entry System	Kiyoshi Yoda, Kengo Sugahara, Yasuhiro Shiraki, Shinji Tanabe, Hiroaki Yamamoto

車載ITのデザイン提案“OMNICAR”	9	609
岡田詩門・河原健太		
カーナビゲーションシステムの音声インターフェース —現状と将来展望—	9	613
岩崎知弘・小坂 真・難波利行・成田知宏		
“VICTORIA”を利用したカーナビゲーションシステム	9	618
橋本浩二・浅井陽介		
カーナビゲーションシステムにおけるブラウジング技術	9	622
西川正治・佐々木幹郎・前田淳志		
後席エンタテインメントシステム向け車載用 インダッシュ6枚DVDチェンジャメカ	9	626
白幡 啓・葛生 孝		
インフォテインメントシステムへの光通信(MOSTバス)の 導入と展開	9	630
安ノ井 弘・越谷敏基・船場裕次		
各国の移動体向けデジタル放送の動向	9	633
瓜生和也・宮下賢二・竹内 満		

特集「モノづくり力の強化」

生産競争力の循環	10	639
新井民夫		
生産技術—モノづくり力の抜本的改善—	10	640
山西健一郎		
高放熱樹脂封止型パワーモジュール	10	645
中島 泰・多田和弘・佐々木太志・鹿野武敏・加柴良裕		
光デバイス製造における半導体生産技術の展開	10	649
岡 一宏・高山智生・梶田直幸・木村達也		
LCD業界における小型基板工場の価値と活用	10	653
小河育夫・大寺 進・吉田和夫・木之下儀美・塚崎 尚		
携帯カメラモジュールの量産化技術	10	659
笹井浩之・今川 剛・美濃部 正・中西隆仁・三宅博之		
高速・高応答リニアサーボモータの生産設計	10	663
木村康樹・橋本 昭・度會 明・仲 興起		
ネオジム系焼結磁石の“イカリング”製造技術	10	667
石見泰造・鶴飼義一・中原裕治		
ACサーボモータ用ロータ Assy の生産技術	10	671
木村行宏・相馬雄介・原賀康介		
機械加工ネットワークシステム“e-F@ctoryモデルライン” 構築による高生産性工場の実現	10	675
大草裕之・加藤義広・大谷真博		
放電加工CAD/CAM—貫システムの構築	10	679
古川浩保・前田明宏・樽本和憲・杉山和永・千代知子・三木昌康		
国際競争に比肩する衛星インテグレーション技術 —グローバル衛星メーカーを目指して—	10	683
永島敬一郎・野村高嗣・横須賀義忠・太田 努・小島光喜・武内景治		
鉛フリーはんだのためのリフローセンサ及び リフローシミュレータ	10	689
村上政明・出田吾朗・村上光平		
換気送風機のSCM構築	10	693
金子貴幸・大石哲嗣・鈴木信博・梶田正和・町田健次		
三菱電機における生産革新活動の推進	10	697
太田成登・武田光史・佐々木 努・熊谷昌男・前畑純一		

特集 I 「プラスチック成形技術」

プラスチック成形加工に思うこと	11	705
濱田泰以		
プラスチック精密成形技術の展望	11	706
馬場文明		

In-Vehicle IT Design “OMNICAR”
Shimon Okada, Kenta Kawahara

Voice Interface of Car Navigation System—Current Technologies and Future—
Tomohiro Iwasaki, Makoto Kosaka, Toshiyuki Nanba, Tomohiro Narita

Car Navigation System using “VICTORIA” Framework
Koji Hashimoto, Yosuke Asai

Internet Browsing Technology for Car Navigation System
Masaharu Nishikawa, Mikio Sasaki, Atsushi Maeda

6 Discs 1 DIN Chassis Size DVD Changer Mechanism for Rear Seat Entertainment
Kei Shirahata, Takashi Kuzuu

Implementation and Development of Infotainment System of Optical Interface “MOST Bus”
Hiromu Annoi, Toshiaki Koshitani, Yuji Funaba

World Trends of Digital Broadcasting for Mobile Reception
Kazuya Uryu, Kenji Miyashita, Mitsuhiro Takeuchi

Advances in Manufacturing Technologies

Cycle of Competitive Power in Manufacturing
Tamio Arai

Drastic Improvement of Manufacturing
Kenichiro Yamanishi

High Thermal Dissipation Transfer Molded Package for Power Modules
Dai Nakajima, Kazuhiro Tada, Taishi Sasaki, Takatoshi Shikano, Yoshihiro Kashiba

Development of Semiconductor Manufacturing Technology on Optical Device Production
Kazuhiro Oka, Tomoo Takayama, Naoyuki Kajita, Tatsuya Kimura

The Original Retrofitting in the 2.5G TFT—LCD Factory for Making the most of the Small Size Glass
Ikao Ogo, Susumu Ohtera, Kazuo Yoshida, Yoshimi Kinoshita, Hisashi Tsukazaki

Production Engineering of Mobile Camera Module
Hiroyuki Sasai, Tsuyoshi Imagawa, Tadashi Minobe, Takahito Nakanishi, Hiroyuki Miyake

Product Design for High Speed and High Response Linear Servo Motor
Yasuki Kimura, Akira Hashimoto, Akira Watarai, Kouki Naka

Manufacturing Technology of Nd—Fe—B Sintered Magnets
Taizo Iwami, Yoshikazu Ugai, Yuji Nakahara

Production Technology of Rotor Assy for AC Servo Motor
Yukihiro Kimura, Yusuke Soma, Kosuke Haraga

Realization of a High Productivity Factory by Machining Network System “e-F@ctory Model Line”
Construction
Hiroyuki Ookusa, Yoshihiro Katou, Masahiro Ootani

Development of Speedy EDM System—Seamless Integration from Design to Actual Machining—
Hiroyasu Furukawa, Akihiro Maeda, Kazumori Tarumoto, Kazuhisa Sugiyama, Tomoko Sendai, Masayasu Miki

Satellite Integration Technology for International Competition
—Growing into a Global Satellite Maker—
Keiichiro Eishima, Takatsugu Nomura, Yoshitada Yokosuka, Tsutomu Ohta, Mitsuyoshi Kojima, Keiji Takeuchi

The Development of Reflow Sensor and Reflow Simulator for Pb-free Soldering
Masaaki Murakami, Goro Izuta, Kohei Murakami

Build up Supply Chain Management Systems of Ventilation Fan
Takayuki Kaneko, Tetsuji Oishi, Nobuhiro Suzuki, Masakazu Kajita, Kenji Machida

Production Innovation for Flexible Manufacturing System in Mitsubishi Electric Corp.
Naruto Ohta, Mitsufumi Takeda, Tsutomu Sasaki, Masao Kumagai, Junichi Maehata

Plastic Molding Technology

What I thinks about Polymer Processing
Hiroyuki Hamada

Trends in Plastic Accurate and Precise Molding Technology for Electric and Electronics Field.
Fumiaki Baba

立体LCD用両面プリズムシートの精密転写成形技術 …11…711	村上 治・結城昭正
携帯電話の筐体・機構部品のプラスチック成形技術 …11…715	齋藤浩二・藤田章洋
射出成形プロセスを用いた金属めっきプラスチック 導波管コンポーネント …11…719	浅尾英喜・逸見和久・棕田宗明・山崎浩二・米田尚史
固体高分子型燃料電池用カーボン樹脂モールドセパレータ …11…723	三谷徹男・犬塚隆之
プラスチックマグネットの直接成形技術 …11…727	荒木 健・竹井多賀子・曾根孝典
プラスチック射出成形CAE技術 …11…731	棕田宗明
プラスチックの自己循環マテリアルリサイクル技術 …11…735	高木 司・岩田修一・井関康人・松尾雄一・藤田章洋

特集Ⅱ「先進モジュール実装技術」

次世代電子機器用の高分子材料技術への期待 …11…739	越智光一
先進モジュール用実装材料技術の現状と展望 …11…740	藤岡弘文
パワーモジュール封止技術 …11…743	多田和弘・中島 泰・鹿野武敏・佐々木太志
高耐圧パワーモジュールパッケージの欠陥検査技術 …11…747	長谷川武敏・武藤浩隆
移動通信機器用はんだ接合技術 …11…751	前田 晃・坂本博夫・松野 繁・高田志郎・長嶺高宏
受動素子内蔵プリント配線板技術 …11…757	内海 茂・豊島利之
次世代光電気複合実装技術 …11…761	平松星紀

特集Ⅰ「最新の受配電システム」

技術開発と個性 …12…767	大久保 仁
受配電システムの技術展望 …12…768	藤本隆一・酒井道雄・沼田伸一
24kV 低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤ“HS-X” …12…773	有岡正博・佐藤伸治・竹内敏恵・矢野知孝・吉田忠広
7.2kV複合絶縁開閉装置“MS-S” …12…777	山地祐一・安東敏治・釣本崇夫・中川隆文
海外規格(IEC規格)適合F形モータコントロールセンタ …12…781	林 和史・岩澤頼晃
3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D固定形) …12…785	菅 則雄・原田貴和・十鳥 洋
MT法による絶縁物の余寿命診断と受配電設備の予防保全 …12…789	岡澤 周・三木伸介・長谷川武敏・橋爪愛一郎・池守 正

特集Ⅱ「車両(電気鉄道)システム技術」

“車両(電気鉄道)システム技術”特集に寄せて …12…793	宗行満男
鉄道車両用電機品での安全・安定輸送への取り組み …12…794	小尾秀夫
EF510形式交直流電気機関車の主回路システム …12…797	萱野博之・根来秀人・伊藤大介・小林伸匡・菅野 崇
小田急電鉄3000形向けVVVFインバータ装置 …12…801	加藤 肇・小笠原 誠・竹岡俊明・田中 毅・高橋哲也

Precision Transcription by Plastic Injection Molding for the Double-sided Prism Sheet of Stereoscopic LCD	Osamu Murakami, Akimasa Yuuki
Plastic Processing Technologies of Housing and Mechanical Parts for Mobile Phone	Koji Saito, Akihiro Fujita
Metal-Plated Plastic Waveguide Components Using Injection-Molding Process	Hideki Asao, Kazuhisa Henmi, Muneaki Mukuda, Kouji Yamasaki, Naofumi Yoneda
Molded Separators Consisted of Carbon-Resin Composites for Polymer Electrolyte Fuel Cell	Tetsuo Mitani, Takayuki Inuzuka
Direct Injection Molding for Bonded Magnets	Takeshi Araki, Takako Takei, Takanori Sone
Computer Aided Engineering Technologies of Plastic Injection Molding	Muneaki Mukuda
Material Recycling Technologies for Closed-Loop Recycle System of Plastics	Tsukasa Takagi, Syuichi Iwata, Yasuo Iseki, Yuichi Matsuo, Akihiro Fujita
Jisso Technology for Advanced Electronic Modules	
Evolution in Functional Polymer Materials for Advanced Electronic Devices	Mitsukazu Ochi
Survey of Activities about Jisso Materials Technology for Advanced Electronic Modules	Hirofumi Fujioka
Molding Technology for Power Modules	Kazuhiko Tada, Dai Nakajima, Takatoshi Shikano, Taishi Sasaki
Insulation Testing Technology for Package of High-Voltage Power Module	Taketoshi Hasegawa, Hirota Muto
Solder Joint Technology for Mobile Communication Terminals	Akira Maeda, Hiroo Sakamoto, Shigeru Matsuno, Shiro Takada, Takahiro Nagamine
Technology for Embedded Passives Printed Wired Board	Shigeru Utsumi, Toshiyuki Toyoshima
Opto/Electric Interconnection Technologies for Next Generation Packaging	Seiki Hiramatsu
Technological Aspects of The Power Distribution Systems	
Technology Development and Identity	Hitoshi Okubo
Technological Aspects of The Power Distribution Systems	Ryuichi Fujimoto, Michio Sakai, Shinichi Numata
24kV Dry Air Insulated Switchgear “HS-X”	Masahiro Arioka, Shinji Sato, Toshie Takeuchi, Tomotaka Yano, Tadahiro Yoshida
7.2kV Composite Insulated Switchgear “MS-S”	Yuichi Yamaji, Toshiharu Ando, Takao Tsurimoto, Takafumi Nakagawa
The F-type Motor-Control-Center applied IEC Standard	Kazufumi Hayashi, Yoriaki Iwazawa
3.6/7.2kV Vacuum Circuit Breaker (VF-8/13D Fixed Type)	Norio Kan, Takakazu Harada, Hiroshi Tottori
Deterioration Diagnosis of Insulating Material of Power Distribution Systems Using MT Method	Hiroshi Okazawa, Shinsuke Miki, Takatoshi Hasegawa, Aiichiro Hasegawa, Tadashi Ikemori
Technology for Rolling Stock Systems	
Technology for Rolling Stock Systems	Mitsuo Muneyuki
Electric Equipment of Rolling Stock for Safety and Stability Transportation	Hideo Obi
Power Circuit System of EF510 AC/DC Electric Locomotive	Hirofumi Kayano, Hideto Negoro, Daisuke Ito, Nobunasa Kobayashi, Takashi Kanno
VVVF Inverter System of Odakyu Electric Railway 3000 Series	Hajime Kato, Makoto Ogasawara, Toshiaki Takeoka, Takeshi Tanaka, Tetsuya Takahashi

車両情報システムの海外展開 増渕洋一・竹山雅之	12	805
HVIPMの高耐圧化と電鉄用パワーエレクトロニクス 機器への応用 田中 毅・北中英俊・有塚智彦	12	809
速度センサレスベクトル制御の実機適用 根来秀人・北中英俊・河野雅樹	12	813
全閉主電動機の製品化適用技術 兼井延浩・堀内清史・羽下誠司	12	817
集約形の列車保安車上装置 飛岡正己・田原一浩・猪又憲治	12	821
最近の車両用空気調和装置 —2階建て車両用AU729形空気調和装置の紹介— 小柳良文	12	825

Train Information System in Overseas Market <i>Yoichi Masubuchi, Masayuki Takeyama</i>
High Voltage IPM and Application to Equipment of Railway Vehicles <i>Takeshi Tanaka, Hidetoshi Kitanaka, Tomohiko Aritsuka</i>
Sensorless Vector Control for Propulsion System of Rolling Stock <i>Hideto Negoro, Hidetoshi Kitanaka, Masaki Kohno</i>
Technologies Applied to the Productization of Totally-Enclosed Type Traction Motor <i>Nobuhiro Kanet, Kiyoshi Horiuchi, Seiji Haga</i>
Integrated on-board Automatic Train Protection <i>Masami Tobitaka, Kazuhiro Tabara, Kenji Inomata</i>
The Latest Rail Car Air Conditioner —Introduction of AU729 Air Conditioner for Double-decker Rail Car— <i>Yoshifumi Koyanagi</i>

普通論文

パッケージエアコン対応リプレース技術 七種哲二・柴 広有・榎本寿彦	2	175
風塵分離型サイクロンクリーナー 小林朋生・小林昭彦・関根加津典・酒井大輔・岩原明弘	3	239
オープンネットワークを活用した ビル設備システムコントローラ 小宮紀之・久代紀之・鈴木繁樹	4	303
IHクッキングヒーターのキー技術 加賀邦彦・菅 郁朗・守田正夫・松原則幸・文屋 潤・野村 智	7	489
IHクッキングヒーターの新調理機能 中野真理子・木下広一・中村 宏・柁島山青・前島成人	7	493

Development of Package Air Conditioner for Replacement <i>Tetsuji Saikusa, Hirokuni Shiba, Toshihiko Enomoto</i>
Cyclone Cleaner CYCLONE CLEANER <i>Tomoo Kobayashi, Akihiko Kobayashi, Katsunori Sekine, Daisuke Sakai, Akihiro Iwahara</i>
Controllers for Building Facility Management Systems with Open-Networks <i>Noriyuki Komiya, Noriyuki Kushiro, Shigeki Suzuki</i>
Developing Key Technology of IH Cooking Heater <i>Kunihiko Kaga, Ikuro Suga, Masao Morita, Noriyuki Matsubara, Jun Bunya, Satoshi Nomura</i>
The New Functions of Induction Cooking Heater <i>Mariko Nakano, Hirokazu Kinoshita, Hiroshi Nakamura, Takaharu Kabashima, Shigeto Maejima</i>

1. 保護継電器自動点検システムとは

受配電設備の定期点検の一つであり機器の特性測定等が含まれる“精密点検”において、保護継電器の保護特性試験を自動で行うシステムです。

2. 保護特性試験

保護継電器に所定の動作入力を与え、故障出力されることを確認するとともに、出力までの時間が許容範囲内であることを確認します。

3. 仕組み

自動点検操作用パソコン(システム構成図①)からの指令により保護継電器(マルチリレーMP21②)は内部で試験用電圧、電流を生成し、アナログ回路に入力します③。

保護継電器は、試験用波形がアナログ回路に入力されてから故障検出までの時間を計測します④。

自動点検操作用パソコンでは、保護継電器が計測した時間が許容範囲内であるかどうかを判定し、結果を表示・印刷します⑤。

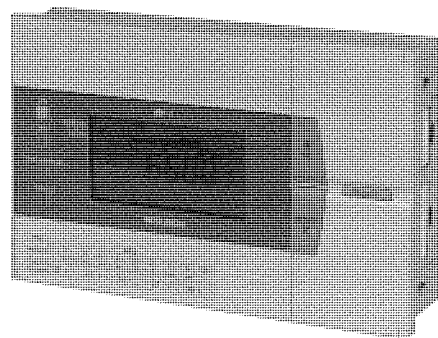
4. 特長

(1) 定期点検(停電)時間の短縮化

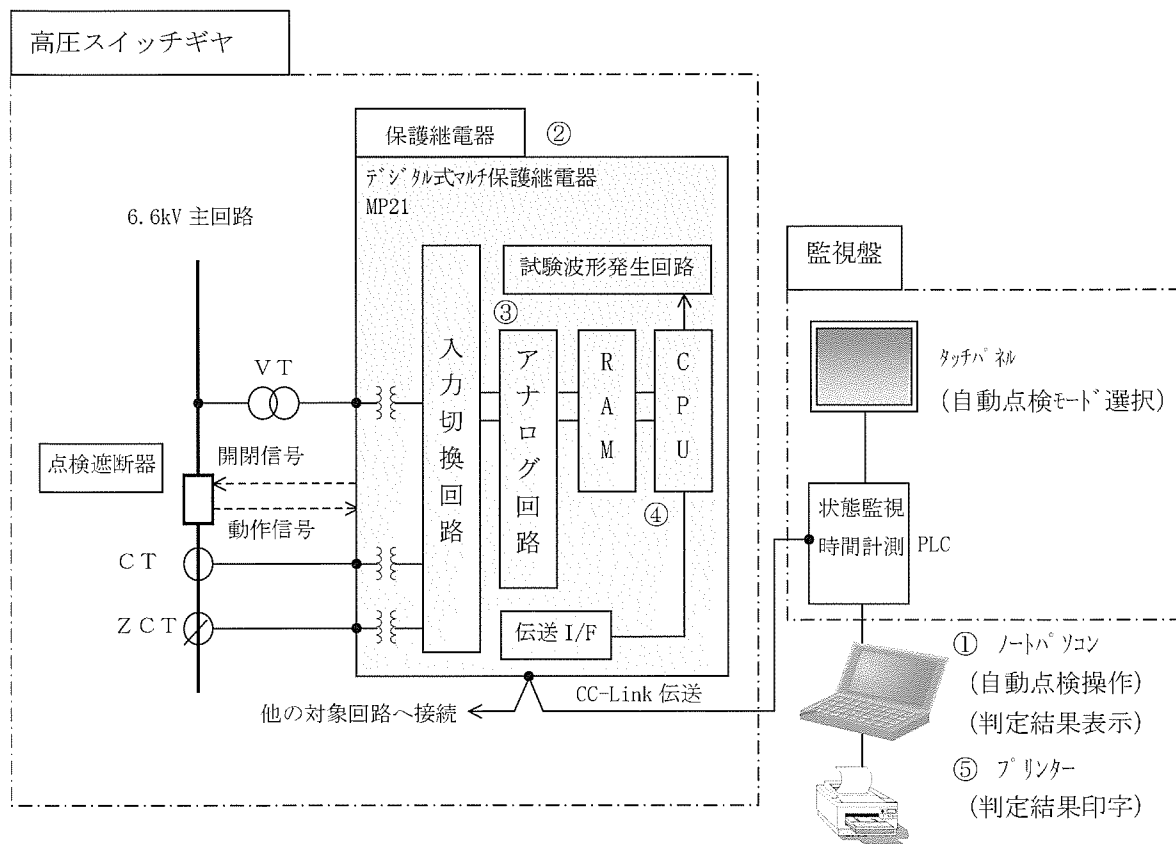
- マルチリレーMP21の自動点検機能を利用するので、特

性試験用電源装置を別途用意する必要がありません。

- 特性試験もパソコン画面を操作するだけで自動で行えるので、試験準備を含めても短時間で試験を完了することが可能です。
 - 保護継電器を配電盤に取り付けた状態で試験を行うので、従来のように一台ごとに取り外す必要がありません。
- (2) 保守点検業務の省力化
- 簡単な操作で試験が行えるため、受配電設備を熟知していなくても、正確な試験が行えます。



マルチリレーMP21



システム構成図